

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE. — N° 58

LE
FILTRE A SABLE
NON SUBMERGÉ

ÉPURATION DES EAUX D'ALIMENTATION

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

(SECTION DE PHARMACIE)

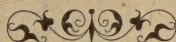
Présentée et soutenue devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 23 Juin 1910

PAR

LOUIS COMBAUD

Né à Saint-André-de-Bâgé (Ain), le 29 Août 1886.



PARIS

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 47 ET 49

—
1910

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. HUGOUNENQ..... DOYEN.
J. COURMONT..... ASSESSEUR.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. CHAUVEAU, AUGAGNEUR, MONOYER, SOULIER, TRIPIER, CAZENEUVE
PROFESSEURS

Cliniques médicales.....	MM. LÉPINE
Cliniques chirurgicales.....	TEISSIER
Clinique obstétricale et Accouchements.....	BARD
Clinique ophtalmologique.....	PONCET
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....	JABOULAY
Clinique des maladies mentales.....	FABRE
Clinique des maladies des enfants.....	ROLLET
Clinique des maladies des femmes.....	NICOLAS
Physique médicale.....	PIERRET
Chimie médicale et pharmaceutique.....	WEILL
Chimie organique et Toxicologie.....	POLLOSSON (A.)
Matière médicale et Botanique.....	CLUZET
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.....	HUGOUNENQ
Anatomie.....	MOREL
Anatomie générale et Histologie.....	BEAUVISAGE
Physiologie.....	GUIART
Pathologie interne.....	TESTUT
Pathologie et Thérapeutiques générales.....	RENAUT
Anatomie pathologique.....	MORAT
Médecine opératoire.....	ROQUE
Médecine expérimentale et comparée.....	COLLET
Médecine légale.....	PAVIOT
Hygiène.....	POLLOSSON (M.)
Thérapeutique.....	ARLOING
Pharmacologie.....	LACASSAGNE
	COURMONT (J.)
	PIC
	FLORENCE

PROFESSEURS ADJOINTS

Physiologie, cours complémentaire.....	MM. DOYON
Maladies des oreilles, du nez et du larynx.....	LANNOIS
Pathologie externe.....	VALLAS
Maladies des voies urinaires.....	ROCHET

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Chimie minérale.....	MM. BARRAL	agrégé
Propédeutique chirurgicale.....	BÉRARD,	—
Propédeutique de gynécologie.....	CONDAMIN	—
Chirurgie infantile.....	NOVE-JOSSERAND,	agr.
Accouchements.....	COMMANDEUR	—
Matière médicale.....	MOREAU	—
Embryologie.....	REGAUD	—
Anatomie topographique.....	PATEL	—

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
SAMBUC	REGAUD	J. LEPINE	NOGIER
COURMONT (P.)	COMMANDEUR	LESIEUR	LATARGET, ch...
CHATIN	GAYET	Étienne MARTIN	BÉRIEL, ch...
VILLARD	NEVEU-LEMAIRE	LAROYENNE	BRETIN, ch...
TIXIER	PATEL	VORON	THÉVENOT, ch...

M. BAYLE, Secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. J. COURMONT, *Président* ; MOREL, *Assesseur*,
MM. LESIEUR et NOGIER, *Agrégés*.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

LE
FILTRE A SABLE
NON SUBMERGÉ

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS.

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE. — N° 58

LE
FILTRE A SABLE
NON SUBMERGÉ

ÉPURATION DES EAUX D'ALIMENTATION

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

(SECTION DE PHARMACIE)

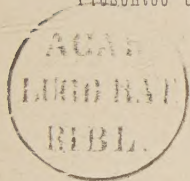
Présentée et soutenue devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 23 Juin 1910

PAR

LOUIS COMBAUD

Né à Saint-André-de-Bâgé (Ain), le 29 Août 1886.



PARIS

H. DUNOD ET E. PINAT, ÉDITEURS

47 ET 49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 47 ET 49

1910

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. HUGOUNENQ..... DOYEN.
J. COURMONT..... ASSESSEUR.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. CHAUEAU, AUGAGNEUR, MONOYER, SOULIER, TRIPIER, CAZENEUVE

PROFESSEURS

Cliniques médicales.....	MM. LÉPINE
Cliniques chirurgicales.....	TEISSIER
Clinique obstétricale et Accouchements.....	BARD
Clinique ophtalmologique.....	PONCET
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques.....	JABOULAY
Clinique des maladies mentales.....	FABRE
Clinique des maladies des enfants.....	ROLLET
Clinique des maladies des femmes.....	NICOLAS
Physique médicale.....	PIERRET
Chimie médicale et pharmaceutique.....	WEILL
Chimie organique et Toxicologie.....	POLLOSSON (A.)
Matière médicale et Botanique.....	CLUZET
Parasitologie et Histoire naturelle médicale.....	HUGOUNENQ
Anatomie.....	MOREL
Anatomie générale et Histologie.....	BEAUVISAGE
Physiologie.....	GUIART
Pathologie interne.....	TESTUT
Pathologie et Thérapeutiques générales.....	RENAUT
Anatomie pathologique.....	MORAT
Médecine opératoire.....	ROQUE
Médecine expérimentale et comparée.....	COLLET
Médecine légale.....	PAVIOT
Hygiène.....	POLLOSSON (M.)
Thérapeutique.....	ARLOING
Pharmacologie.....	LACASSAGNE
	COURMONT (J.)
	PIC
	FLORENCE

PROFESSEURS ADJOINTS

Physiologie, cours complémentaire.....	MM. DOYON
Maladies des oreilles, du nez et du larynx.....	LANNOIS
Pathologie externe.....	VALLAS
Maladies des voies urinaires.....	ROCHET

CHARGÉS DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Chimie minérale.....	MM. BARRAL	agrégé
Propédeutique chirurgicale.....	BERARD.	—
Propédeutique de gynécologie.....	CONDAMIN	—
Chirurgie infantile.....	NOVE-JOSSERAND, agr.	—
Accouchements.....	COMMANDEUR	—
Matière médicale.....	MOREAU	—
Embryologie.....	REGAUD	—
Anatomie topographique.....	PATEL	—

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
SAMBUC	REGAUD	J. LEPINE	NOGIER
COURMONT (P.)	COMMANDEUR	LESIEUR	LATARGET, ch...
CHATIN	GAYET	Étienne MARTIN	BÉRIEL, ch...
VILLARD	NEVEU-LEMAIRE	LAROYENNE	BRETIN, ch...
TIXIER	PATEL	VORON	THÉVENOT, ch..

M. BAYLE, Secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. J. COURMONT, Président ; MOREL, Assesseur,
MM. LESIEUR et NOGIER, Agrégés.

La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

AVANT-PROPOS

L'idée de cette étude sur le filtre à sable non submergé nous a été suggérée par M. le professeur Courmont.

Frappé des avantages pratiques de ce mode de filtration, tant au point de vue de la bactériologie que de l'économie urbaine, il en avait déjà signalé l'emploi dans la Revue pratique d'hygiène municipale (n^{os} mai et juin 1908). Nous le remercions d'avoir bien voulu nous confier le soin de pousser plus avant sa communication et d'en faire une étude plus approfondie. Nous ne saurions lui témoigner une trop vive et trop respectueuse gratitude pour l'obligeance avec laquelle il a mis son laboratoire à notre disposition : c'est grâce à elle que nous avons pu établir un filtre soigneusement construit dans les locaux de la Faculté de Médecine de Lyon, et renouveler, en les complétant, les expériences faites jusqu'à ce jour.

Sur son avis également, et afin de contrôler les données forcément réduites du laboratoire — lesquelles rencontrent parfois des difficultés inattendues dans leur application à la vaste échelle de l'utilisation pratique, — nous nous sommes rendu à Châteaudun où a été faite la première installation du filtre à sable non submergé. Là, nous avons reçu de M. Baudet, député et maire de la ville, un accueil particu-

lièrement aimable, et avons obtenu grâce à lui les renseignements les plus précis sur le service municipal des eaux.

Puis, nous avons été non moins bien accueillis à Paris, par M. le Dr Miquel, directeur du laboratoire bactériologique de la capitale, et par son assistant, M. Mouchet, qui nous ont permis de consulter tous les documents réunis par eux sur cette question depuis de longues années, au cours de leurs patientes recherches.

Nous les prions tous de vouloir bien agréer l'expression de notre sincère reconnaissance.

Enfin, nous ne saurions oublier ce que nous devons à notre ami le Dr Rochaix, chef de travaux d'hygiène à la Faculté de Médecine de Lyon, à sa précieuse collaboration, à sa compétence éclairée, à sa cordiale sympathie. Qu'il nous permette de lui exprimer la gratitude d'une bonne amitié.

Lyon, le 20 juin 1910.

INTRODUCTION

La question de l'eau potable dans l'alimentation est non seulement une des plus importantes de l'hygiène privée, mais elle intéresse au premier chef la vie sociale puisqu'elle est une des conditions capitales de la santé publique.

Parmi les maladies d'origine hydrique, la plus commune et la plus redoutable pour nous est la fièvre typhoïde. Il s'ensuit donc que la meilleure prophylaxie est de consommer une eau pure. Sans doute il est possible, ainsi qu'on l'a récemment soutenu, que des individus sains, porteurs de bacilles typhiques, deviennent de dangereux agents de transmission; mais, s'il est évident qu'il faille se prémunir de leur contact, il ne faut pas cependant exagérer la fréquence de ce mode de contamination.

Un fait scientifiquement établi, c'est que dans la plupart, sinon dans la totalité des épidémies signalées, l'absorption d'une eau souillée par le bacille d'Eberth est la cause à incriminer. De là, pour les municipalités, l'impérieux devoir de livrer à la consommation publique une eau naturellement exempte, ou soigneusement purifiée, de tout microbe pathogène.

Or, nous ne sommes plus au temps où l'on considérait toute eau de source comme *pure* à priori.

D'abord, les sources peuvent se polluer par des infiltrations accidentelles dues à des phénomènes sismiques ignorés ; puis, ce qu'on prend pour des sources, particulièrement dans la population rurale, n'est souvent que des résurgences, c'est-à-dire un déversoir de nappes superficielles plus ou moins éloignées ou de cours d'eau souillés dans leur parcours, à travers des terrains fissurés.

Par conséquent, il est d'absolue nécessité de soumettre à une épuration méthodique toute eau destinée à l'alimentation. Bien des procédés physiques et chimiques ont été, depuis longtemps, adoptés ou expérimentés, sans donner une satisfaction complète. Nous n'avons l'intention ni de les exposer, ni de les discuter. Nous voulons nous en tenir à une seule méthode, une des plus pratiques et des plus efficaces : la **filtration**.

CHAPITRE I

LES FILTRES A SABLE SUBMERGÉ. — CRITIQUE

La **filtration** peut être soit **naturelle**, soit **artificielle**. Parmi les divers procédés qui utilisent la filtration naturelle, nous n'envisagerons que les deux principaux : les *galeries filtrantes* et les *puits Lefort*.

Galeries filtrantes.

Le premier système fonctionne dans plusieurs grandes villes de France, et nous avons eu particulièrement le loisir de l'étudier à diverses reprises à Lyon. Il existe en amont de cette ville des galeries souterraines parallèles à la berge du Rhône et qui sont séparées de son lit par une couche de gravier de 7 mètres d'épaisseur. Ce système constitue un filtre naturel dans lequel l'eau chemine à travers les interstices que les grains de sable et le gravier laissent entre eux, et se débarrasse des particules qu'elle tient en suspension : matières terreuses et bactéries. L'épuration microbienne dépend, ainsi que l'a démontré M. le Dr Imbeaux, de quatre causes :

1° La nature, la finesse et l'homogénéité du sable traversé ;

2° L'épaisseur de la tranche filtrante ;

3° La vitesse de filtration ;

4° Le nombre de germes contenus dans l'eau brute.

La réduction microbienne est environ de 10 à 1.

On voit donc en envisageant ce dernier facteur seulement, que si les galeries filtrantes donnent d'assez bons résultats à Lyon où l'eau du Rhône est très pauvre en bactéries, 70 à 150 par centimètre cube, il n'en est pas de même si l'on a affaire à un cours d'eau lent et très contaminé, renfermant, comme cela se rencontre fréquemment, de 10 à 100.000 germes et plus par centimètre cube.

Enfin, dans les grandes crues, l'eau filtrée ne pouvant pas être complètement débarrassée des matières terreuses en suspension, il est toujours regrettable pour une ville de livrer de l'eau trouble, quoique pure, à la consommation.

Puits Lefort.

Les puits Lefort installés à Nantes vers 1890 sont formés d'une maçonnerie étanche construite au milieu du lit de la Loire, et entourée de sable fin rapporté. Dans les parois de la maçonnerie sont creusées des ouvertures nombreuses appelées barbacanes, remplies de gravier fin retenu par une toile métallique. C'est par ces ouvertures que passe dans le puits l'eau filtrée, où elle est recueillie par un tuyau collecteur.

A Budapest, ils diffèrent de ceux installés à Nantes en ce sens que le sable faisant fonction de filtre, au lieu d'être disposé latéralement, se trouve placé au-dessus de la maçonnerie.

L'un et l'autre système semblent donner des résultats assez bons ainsi qu'en témoignent les analyses publiées. Cependant nous reproduisons plus loin des tableaux montrant que le *Bacillus coli* peut se ren-

contrer dans l'eau filtrée, et ce seul fait serait une critique grave à l'adresse du puits Lefort.

De plus, ils sont très difficiles et très onéreux à installer dans le lit d'un grand fleuve. S'il arrive un accident quelconque, il est presque impossible de les réparer ; enfin, et c'est un des griefs les plus importants à adresser aux puits Lefort, aussi bien qu'aux galeries filtrantes, s'il survient une contamination, à la suite d'une fissure par exemple, il faut suspendre la distribution de l'eau en ville pendant un temps plus ou moins long : souvent même le puits ou la galerie contaminés restent hors d'usage.

Les deux systèmes de filtration naturelle que nous venons d'examiner rapidement sont loin de nous donner une absolue sécurité. Que devons-nous penser de la filtration artificielle dont les types principaux sont : *les bassins à sable de Hambourg et les filtres américains à coagulants* ?

Filtres de Hambourg.

Les filtres de Hambourg se composent de *bassins de décantation* où l'eau séjourne pendant une vingtaine d'heures environ pour se débarrasser grossièrement de ses impuretés, et de *bassins filtrants*.

Nous emprunterons la description de ces derniers à M. le Dr Dupont qui s'est rendu sur place pour étudier ce système de filtration. « Sur de larges dalles plates qui forment le fond du bassin, on place d'abord à la main de grosses pierres sur une hauteur de 20 centimètres, puis 10 centimètres de cailloux de la grosseur d'un œuf d'oie. Enfin sur une

épaisseur de 30 centimètres, on entasse du gravier, allant en diminuant de diamètre de la grosseur d'une noix à celle d'un pois. On a ainsi constitué une assise de gravier de plus en plus petit et serré, d'une hauteur totale de 60 centimètres.

« Sur cette couche de gravier, on dispose enfin l'élément principal du filtre, c'est-à-dire une couche de sable fin de 1 mètre d'épaisseur. Par l'enlèvement périodique, lors du nettoyage du filtre, de la couche superficielle souillée, l'épaisseur du sable s'abaisse graduellement. Lorsqu'elle n'atteint plus que 40 centimètres, on lui restitue sa valeur primitive par l'apport de sable préalablement lavé.

« Pour recueillir l'eau qui a filtré à travers le gravier et le sable, il existe un réseau de canaux aboutissant au collecteur principal. Celui-ci s'étend en droite ligne, dans toute la largeur du filtre. Il a 55 centimètres de hauteur sur 80 centimètres de large ; ses parois latérales sont en maçonnerie, et il est recouvert par des dalles de granit.

« La hauteur de l'eau brute qui surmonte la couche de sable fin est fixée à 1 m. 10, et l'eau filtrée ne doit pas contenir plus de 100 germes par centimètre cube. »

Nous n'entrerons pas dans le détail du réglage, de la surveillance et du nettoyage des filtres. Nous avons de par la simple description de ce système des griefs suffisants à lui adresser. Le débit est irrégulier, d'abord parce qu'il varie continuellement sous l'influence de la pression, c'est-à-dire suivant la hauteur d'eau brute au-dessus du sable ; en second lieu, il

diminue progressivement, à mesure que la surface de la masse filtrante se colmate, ce qui arrive rapidement, les eaux, malgré leur décantation, étant toujours riches en matières en suspension.

Mais, s'il est possible, dans une certaine mesure, de remédier à ces inconvénients, il en est deux autres d'un ordre beaucoup plus important, car ils s'adressent à tous les filtres à sable submergé en général : le *manque d'oxygénation* et le *rôle des parois*.

La masse filtrante, en effet, se trouve à peu près complètement privée d'air, et de plus est isolée de l'air extérieur par une épaisse couche d'eau. C'est un contre-sens apparent que d'attendre une épuration d'un milieu privé d'oxygène.

L'influence de la paroi, dans les filtres noyés, est encore plus funeste. Il se produit sous l'effet de la pression, d'autant plus grande que la charge est plus considérable, un cheminement et même une aspiration de l'eau entre le sable et les parois du filtre : la lame d'eau qui passe n'est donc pas soumise à l'action épuratrice du sable et contient tous les germes de l'eau brute.

Les partisans du filtre de Hambourg nous feront une objection irréfutable de prime abord : « les résultats des analyses sont excellents, la réduction microbienne est de 80 %, les chiffres sont là pour en témoigner ». Nous répondrons à ceci simplement que les méthodes d'analyse sont totalement différentes en Allemagne et chez nous : un bacille, le coli par exemple, doit donner, pour que sa présence soit admise, toutes les réactions, *sans exception*, qui lui

sont propres, et de plus les numérations sont faites au bout de 48 heures de culture. Or, M. le Dr Miquel fait multiplier le chiffre obtenu par 7,353, et le professeur Vincent par 19,6 pour obtenir le nombre exact de germes après quinze jours de culture. Les eaux de Hambourg, d'après les chiffres allemands, contenant avant l'épuration en moyenne 2.321 microorganismes par centimètre cube et 27 seulement après filtration, multiplions ce dernier chiffre par les coefficients ci-dessus, nous aurons soit 198, soit 529 germes par centimètre cube, qui seront les nombres exacts.

L'épuration est donc plus fictive que réelle.

Enfin, et cette dernière considération s'applique à tous les systèmes de filtration que nous avons passés en revue, aussi bien galeries filtrantes que puits Lefort, ou bassins de Hambourg, ce qui importe dans l'épuration d'une eau, ce n'est pas tant la réduction que la disparition des germes du moins pathogènes. Peut-on considérer, en effet, comme épurée une eau contenant 150 coli seulement par centimètre cube, alors que l'eau brute en renfermait 1500?

Nous nous permettrons de citer à cet appui ces paroles de Duclaux : « N'oublions pas que, au point de vue hygiénique, la qualité des germes a une bien autre influence que leur quantité. Une eau peut être très riche en germes et être relativement saine, une autre eau très pauvre et relativement dangereuse, et puisque nous sommes appelés à parler de cette question, nous devons dire à ce sujet toute notre pensée qui est celle-ci : c'est se leurrer soi-même et leurrer le public que de prendre ou de donner le nombre des

germes présents dans une eau pour unique mesure de sa valeur hygiénique.

« Il faut de plus, ce premier point admis, pousser bien loin la foi dogmatique pour fixer cette valeur par un chiffre et dire, par exemple, qu'une eau est pure quand elle contient moins de 300 germes par centimètre cube. Une eau est pure quand elle est pure, c'est-à-dire quand elle ne contient plus de germes du tout. Si dans les laboratoires nous faisons parfois des numérations, ce n'est pas pour faire des fétiches des chiffres trouvés, c'est pour recueillir des faits et y puiser des idées, selon la formule de Buffon. Mais nous n'avons jamais songé à considérer comme inoffensifs les germes qui sont au-dessous de 300, comme dangereux ceux dépassant ce chiffre. Pour juger de la valeur d'une eau, il faut faire entrer en ligne de compte les conditions de captage, la nature géologique du sol d'où elle sort, la nature des surfaces, les chances de contamination dans le trajet, les conditions d'impureté à la sortie, bref l'ensemble des notions que nous avons essayé de résumer.

« Nous nous défierons davantage d'une eau qui reçoit une minime quantité de matières excrémentielles que d'une eau qui sera chargée de germes pour avoir lavé une région désertique. »

Nous admettrons donc seulement comme parfait un système simple de filtration où l'on ne retrouve pas à la sortie un germe pathogène qui existait dans l'eau brute.

Filtres américains à coagulants.

Dans le *filtre américain* à coagulants, l'opération se fait en deux parties : la décantation et la filtration proprement dite. Dans le premier temps on ajoute à l'eau brute de l'alun — 22 grammes par mètre cube

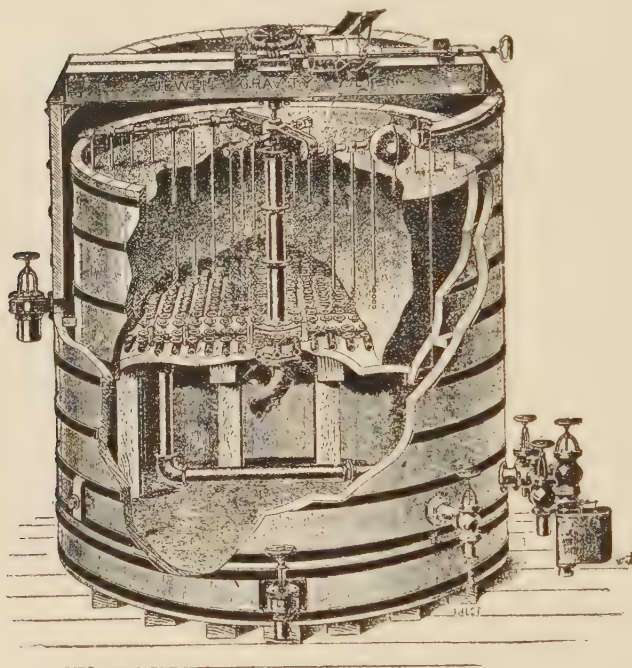


Fig. 1. — Filtre « Jewell ».

— pour précipiter par coagulation les matières les plus ténues qu'elle peut tenir en suspension. L'eau ainsi traitée séjourne dans un bassin de décantation jusqu'à ce que son niveau augmentant, elle soit conduite par un tuyau à la partie supérieure de la masse filtrante.

Nous décrirons, avec quelques détails, ce filtre qui ne ressemble en rien à ceux étudiés jusqu'alors. Le filtre type, destiné à filtrer l'eau en grande quantité — pour une ville par exemple — se compose essentiellement de deux cuves concentriques, dont l'une intérieure contient du sable très fin, destiné à filtrer l'eau. Ces deux cuves sont soit en bois de cèdre ou de cyprés, cerclées très solidement de bandes de fer forgé, qui unissent intimement les douves, soit en fer ou en acier (voir figure : filtre Jewell).

L'appareil complet a environ 4 m. 50 de hauteur. La cuve intérieure, plus petite, a une hauteur bien moindre et un diamètre plus faible que la cuve extérieure. Il existe entre ces deux cuves, à la partie inférieure de l'appareil, un espace libre assez considérable qui constitue ce que nous avons appelé plus haut le bassin de décantation.

L'eau décantée est amenée de bas en haut, par un tuyau qui la traverse, au-dessus du sable qu'elle recouvre d'une hauteur constante de 0 m. 30. Par la simple pesanteur elle s'écoule à travers la masse filtrante, et en sort par une tuyauterie spéciale disposée à la partie inférieure de la petite cuve. Au-dessus de cette petite cuve se trouve un appareil agitateur destiné à nettoyer le sable.

Cet appareil agitateur est composé d'un arbre de couche vertical placé dans l'axe de la cuve et sur lequel sont fixés quatre bras métalliques rigides, portant de petites pièces également métalliques, disposées sur ces bras comme les dents d'un peigne. Ces dents sont disposées de telle façon que lorsque l'appareil tourne

dans le sens avant, elles sont rigides ; au contraire, quand il tourne dans le sens arrière, grâce à des articulations à rotule, ces dents peuvent se replier sur elles-mêmes. Un système d'engrenage à vis sans fin sert à faire tourner l'arbre de couche qui, dans ce cas, entraîne dans sa course les dents de l'agitateur.

Pour nettoyer le filtre, on fait arriver en sens inverse de l'eau filtrée et l'on brasse le sable au moyen de l'appareil ci-dessus, jusqu'à ce que l'eau, après avoir lavé le sable, soit aussi pure qu'avant.

Il existe tout un système de vannes spéciales permettant l'arrivée et la sortie de l'eau pour le lavage ou le relavage du sable, sans emprunter les canalisations principales. Nous renvoyons ceux qu'une étude plus approfondie intéresserait au travail de M. le Dr Nomblot, à qui nous avons d'ailleurs emprunté la description des appareils américains ¹.

Ceux-ci ont subi, suivant les villes où ils sont employés, quelques légères modifications, de même qu'il existe des appareils beaucoup plus réduits pour de petites collectivités, mais le principe en est toujours le même.

Les résultats de ces appareils sont excellents : la vitesse de filtration est très grande ; on peut atteindre jusqu'à 120 mètres cubes par mètre carré de surface filtrante et par 24 heures ; l'eau après décantation préalable est parfaitement limpide. Enfin, d'après Bitter, « au point de vue bactériologique, ce filtre se com-

1. Dr Nomblot, *Filtration des eaux potables par les procédés américains* (1904).

porte d'une excellente façon puisque la réduction moyenne est de 1/1000 à la fin de la première heure, et que les bactéries aquatiques qui subsistent ne dépassent pas 50 par centimètre cube. »

Malheureusement ces filtres, très répandus en Amérique, puisqu'en 1904 ils fonctionnaient dans près de 200 villes, n'existent pas encore en France, à notre connaissance du moins, et nous n'avons pas pu de visu nous convaincre de leurs avantages.

D'ailleurs, en raison de leur grande vitesse de filtration, une cause minime peut en déranger le fonctionnement. Bitter cite le cas où un visiteur, ayant accidentellement plongé sa canne dans la masse filtrante, on vit augmenter brusquement le nombre de microbes de 63 à 304. De plus, l'addition de sulfate d'alumine augmente sensiblement la dureté de l'eau. Enfin, et c'est un des griefs les plus valables, ce système de filtration nécessite un grand entretien et par conséquent un surcroît de main-d'œuvre. L'appareil s'encrasse très rapidement : d'après les expériences il doit être nettoyé toutes les 24 heures. Malgré la rapidité de cette opération, qui peut se faire en une dizaine de minutes seulement, c'est un inconvénient capital que l'on doit éviter dans tous les systèmes destinés à l'alimentation publique en grand, pour qui nous réclamons le minimum de surveillance.

CHAPITRE II

LE FILTRE A SABLE NON SUBMERGÉ

Nous nous sommes appesantis à dessein sur ces deux derniers systèmes d'épuration : bassins filtrants de Hambourg et filtres américains à coagulants, parce que celui que nous nous proposons d'étudier est également basé sur la filtration artificielle. Nous voulons parler *du filtre à sable non submergé*.

Cet appareil, comme son nom l'indique, diffère de tous les systèmes précédemment énumérés par ce fait que l'eau ne recouvre jamais le sable ; elle coule goutte à goutte à sa surface sans le submerger à aucun moment et disparaît aussitôt à travers la masse filtrante. Nous ne pouvons mieux donner le schéma de la filtration qui s'opère qu'en reprenant l'expression de M. Courmont : « une pluie fine arrosant un terrain sablonneux qui absorberait *à mesure l'eau tombée*. »

Historique.

L'idée première d'utiliser un pareil système de filtration revient à M. Janet, géologue, ingénieur-conseil du service des eaux de la ville de Paris. Il avait, au cours de ses recherches, fait cette double constatation, d'abord que l'épuration des eaux usées se faisait particulièrement bien dans les sols sableux ; en second

lieu que les eaux de source les plus pures et dont la composition bactériologique demeurait sensiblement identique prenaient naissance également dans les terrains sablonneux. Dans l'un et l'autre cas, l'épuration se produisait à mesure que l'eau s'acheminait à travers le sable et la masse filtrante n'était jamais submergée.

Ce dernier point surtout frappa l'esprit de M. Janet, qui voulut reproduire artificiellement cette filtration telle qu'elle se passait dans la nature. Pour cela, il proposa « d'utiliser la butte de Montmorency constituée par une couche de 50 mètres d'épaisseur de sable de Fontainebleau sur un fond imperméable marneux : l'eau filtrée serait l'eau de l'Oise ». Ce projet ne fut pas admis, mais M. le D^r Miquel, saisi de son ingéniosité, résolut de conduire dans ce sens des essais de laboratoire.

Nous ne compliquerons pas ici notre étude en décrivant toutes les modifications qu'a reçues le filtre à sable non submergé et en signalant les nombreux tâtonnements dont il a été l'objet depuis six ans. Lorsque nous rappellerons les expériences de MM. Miquel, Mouchet, Dimitri et Baudet, nous indiquerons quels ont été leurs appareils primitifs et les raisons qui les ont amenés à les modifier.

Mais nous jugeons utile pour celui qui est étranger à cette question de lui décrire le filtre à sable non submergé tel qu'il existe actuellement, afin de lui en donner une vue d'ensemble, et de lui permettre, si besoin est, d'en établir facilement un, tel qu'il doit l'être, avec les données que nous possédons aujourd'hui et les perfectionnements qu'on a pu y apporter.

Description.

Le filtre à sable non submergé se compose essentiellement de deux parties: le **préfiltre** ou **dégrossisseur** et le **filtre proprement dit**.

Le **préfiltre** peut être formé « par une couche de sable moyen (2 à 3 millimètres) et de 30 centimètres de hauteur, soutenu par un dispositif de drainage analogue à celui du filtre. Ce filtre peut posséder seulement le quart de la surface de l'appareil épurateur. L'eau qui s'échappe du filtre dégrossisseur est amenée directement par un tube d'arrosage. Afin d'éviter le débordement du dégrossisseur, quand le sable est imperméabilisé, le préfiltre devra être muni d'un trop-plein.

« Dans le cas où l'on aura à traiter des eaux très souillées, il sera avantageux, pour ne pas interrompre fréquemment la marche de l'appareil, d'installer deux filtres dégrossisseurs fonctionnant alternativement, avec le débit voulu, de manière à en avoir toujours un en marche, pendant l'arrêt de l'autre pour le nettoyage ¹. »

M. Dimitri à Rouen, dans son essai de filtration par le sable non submergé, dont nous parlerons ultérieurement, se servit, dans sa première série d'expériences, du dégrossisseur suivant : l'eau, amenée par la canalisation de la ville, circulait dans une série de chicanes à très faible pente pour subir une première décantation, puis elle passait successivement à travers

1. *Bulletin officiel du Ministère de la Guerre*, n° 8, 8 mars 1909.

trois bassins contenant : le premier du gravier, le deuxième du gravillon, le troisième du sable de 2 à 3 millimètres. Ces filtres fonctionnaient sans être submergés, la distribution de l'eau se faisait par des gouttières.

Mais la limpidité n'étant pas suffisante, il eût été impossible d'essayer de grands débits, sous peine de submerger le filtre. C'est alors que pour remédier à cet inconvénient M. Dimitri employa un filtre, genre américain, de 0 m. 70 de diamètre, fonctionnant avec addition de 3 à 5 grammes de sulfate d'alumine par mètre cube d'eau. Le débit pouvait être ainsi poussé jusqu'à 130 mètres cubes par mètre carré et par 24 heures, et le nettoyage avait lieu tous les jours par le brassage du sable et retour d'eau de bas en haut pendant dix minutes.

L'eau préfiltrée était complètement clarifiée et sensiblement aussi limpide que celle définitivement filtrée par le filtre non submergé.

On a donc le choix pour le dégrossisseur, mais le premier que nous avons décrit est le plus simple, et donne de bons résultats.

D'ailleurs, il devient totalement inutile, si l'on emploie des eaux de source. Celles-ci étant toujours claires, sauf après de grandes pluies, dans des terrains fissurés, et ne contenant que très rarement de l'argile ou d'autres matières en suspension, on n'a pas à redouter le colmatage rapide, inévitable avec les eaux de rivière.

L'emploi du dégrossisseur dépendra donc uniquement de l'origine de l'eau servant à l'alimentation ; et

nous verrons plus loin ce que nous devons penser des eaux de source par rapport aux eaux de rivière, et auxquelles nous devons donner la préférence.

Le **filtre proprement dit** est constitué par les *matériaux de filtration*, les *matériaux de drainage* et le *mode de distribution de l'eau*.

Les deux premières parties de la question sont maintenant résolues, mais il n'en est pas de même du mode de répartition de l'eau, encore très controversé, malgré les nombreuses recherches dont il a été l'objet.

Matériaux de filtration. — Dans leurs appareils primitifs, MM. Miquel et Mouchet avaient superposé deux couches de sable : la première, superficielle, de 5 centimètres d'épaisseur, était faite de sable moyen, la deuxième de 1 m. 20 d'épaisseur, faite de sable fin de Fontainebleau, tamisé à travers des passoirs à trous circulaires de 0 m/m 75 à 2 m/m.

Actuellement, la masse filtrante est uniforme, la couche superficielle a été supprimée et le diamètre du sable réduit à 1 millimètre et au-dessous.

Pour obtenir une telle finesse, on le passe à travers des tamis à mailles de 1 millimètre de côté ¹.

1. Pour tamiser la masse relativement considérable du sable, M. Baudet recommande le procédé suivant qui facilite de beaucoup l'opération :

Construire une trémie cylindrique formée de toile métallique bien régulière.

Le passage du sable au travers des mailles est facilité par des jets d'eau distribués à la surface extérieure et supérieure de la trémie ; ces jets d'eau sous pression dégagent la toile métallique des grains

Tout récemment, M. Baudet fit un nouvel essai à Châteaudun en superposant une couche de sable de 1 millimètre de diamètre à une autre de sable plus grossier de 2 m/m 5 environ, et cela dans le but, fort judicieux d'ailleurs, d'empêcher la submersion du sable dans la partie inférieure du filtre, et par conséquent la formation d'une boue où pouvaient pulluler les bactéries. Il devait se produire, semblait-il, une sorte d'aspiration qui favoriserait l'écoulement de l'eau filtrée à travers le sable et permettrait ainsi d'augmenter le débit. MM. Miquel et Mouchet prétendent cette précaution inutile. D'après leurs dernières expériences, en effet, l'eau ne séjourne nullement dans la partie inférieure du filtre, et toute crainte de submersion doit être écartée.

Nous verrons plus loin quel peut être, dans les conditions ci-dessus, le débit maximum du filtre.

La nature du sable semble être de peu d'importance. Nous avons pu voir dans les différents filtres à Paris du sable fin de Fontainebleau, à Châteaudun du sable de la Loire : les résultats sont les mêmes dans ces deux villes, et il nous semble, la question économique devant être envisagée au premier chef, qu'il est bon d'employer les sables de la région où l'on se trouve, pourvu que ceux-ci ne soient pas trop vaseux, ce qui nécessiterait un lavage un peu prolongé.

de sable qui y resteraient autrement engagés, et lavent en même temps la masse sableuse.

Une chaîne à godets reprenant le sable trié à la sortie de la trémie, le remonte dans un entonnoir où coule un fort jet d'eau.

De là des tuyaux en tôle emmènent le mélange d'eau et de sable jusque dans les cuves où il s'entasse de lui-même en se lavant une seconde fois.

Toutefois les sables de carrière, et particulièrement les sables des cours d'eau issus de régions granitiques, sont à recommander en raison de leur pureté et de leur homogénéité.

Quant aux dimensions des cuves, servant de récipient à la masse filtrante, il est de toute évidence qu'elles dépendent uniquement du débit demandé. Elles seront de forme rectangulaire, avec une longueur variable, mais une largeur n'excédant pas 2 m. 50 à 2 m. 75 pour permettre une surveillance facile et constante des appareils de distribution. Le béton armé nous paraît indiqué comme mode de construction, en raison de sa solidité et de son faible prix de revient.

Matériaux de drainage. — Les matériaux de drainage constituent la partie d'écoulement de l'eau filtrée depuis sa sortie du sable jusqu'à sa canalisation.

Le Ministère de la Guerre, dans son instruction du 28 janvier 1909, recommande un système de briques alternant en chicane, les inférieures à une distance de 0 m. 05, les supérieures à 0 m. 02 seulement et dont les intervalles sont comblés par des graviers de 0 m. 02 de diamètre. Au-dessus, trois couches de 0 m. 05 d'épaisseur chacune, la première de bas en haut, faite de graviers de 0 m. 02 à 0 m. 04 de diamètre ; la seconde de gravillons de 0 m. 005 à 0 m. 01 ; la troisième, enfin, de gros sable de 0 m. 003 de diamètre : sur cette dernière repose la masse filtrante. C'est là un système de drainage économique, mais trop compliqué et nécessitant une série de tamisages ennuyeux.

On peut le remplacer très simplement, comme il est fait à Châteaudun et à Paris, par des dalles de 0 m. 05 d'épaisseur, en béton maigre ou en toute autre matière poreuse reposant sur des briques sur champ. Cette partie du filtre n'a d'ailleurs d'autre but que d'empêcher le sable de passer dans la canalisation.

La substitution d'une dalle filtrante aux différentes couches de gravier, dont nous avons parlé plus haut, a, en plus de sa simplicité, l'avantage de diminuer de 0 m. 15 au minimum la hauteur du filtre, ce qui constitue une économie et permet en outre à un homme de taille moyenne de surveiller aisément la surface du sable.

Enfin, la paroi inférieure de la cuve, munie d'un enduit lissé en ciment relevé sur les côtés, doit avoir une pente faible mais régulière vers le ou les trous de l'écoulement de l'eau filtrée.

Mode de distribution de l'eau. — Reste à étudier le mode de distribution de l'eau à la surface du filtre. Nous avons dit au début de notre travail que l'eau devait « tomber en pluie » sur le sable. Il y a loin malheureusement de la théorie à la pratique et les systèmes employés jusqu'à ce jour, s'ils donnent de très bons résultats, ne sont cependant pas parfaits. Dans les premiers appareils construits par MM. Miquel et Mouchet, l'eau était amenée sur le sable par un tube en spirale percé de trous. C'est le procédé adopté pour les casernes par le Ministère de la Guerre. Dans les grandes installations, à Châteaudun par exemple, à Rouen, pour le filtre d'essai construit par

M. Dimitri, la distribution de l'eau est assurée par des rampes de canalisation branchées sur une nourrice latérale ; ces rampes placées à quelques centimètres au-dessus du sable sont munies de trous équidistants les uns des autres, sur lesquels sont raccordés de « petits ajutages doubles et démontables, formés de deux parties unies simplement à frottement, ce qui en rend le débouchage et le nettoyage très faciles ¹ ».

Mais la critique que nous faisons — et leurs auteurs également — à ces modes de répartition de l'eau, est que celle-ci ne tombe pas en pluie sur toute la surface du sable, mais seulement en jets ou mieux en filets à intervalles réguliers. Il en résulte qu'une faible partie seulement du filtre travaille, et que par suite le débit se trouve limité.

C'est pour parer à ce double inconvénient que ces dernières années on s'est livré à de nombreux essais. Mais pour qu'un appareil destiné à fonctionner en grand soit pratique, il faut qu'il soit à la fois d'un prix relativement peu élevé et qu'il exige le minimum de surveillance.

Lorsque nous avons eu l'occasion de visiter l'installation de Châteaudun, M. Baudet essayait un tourniquet hydraulique de son invention, fonctionnant au moyen de billes et alimenté par le haut pour éviter les infiltrations qui se produiraient inévitablement le long d'une conduite traversant la masse filtrante. Cet appareil, bon marché, échapperait par son mécanisme très simple à la critique adressée à tous les appareils

1. L. Baudet, *Le filtre à sable non submergé*.

mécaniques construits jusqu'alors. Les résultats, au début des essais, étaient très satisfaisants, mais M. Baudet en veut la confirmation par une plus longue expérience avant de livrer son invention au public.

De son côté, M. Mouchet, peu partisan des appareils mécaniques, étudiait en même temps un système d'arrosage, consistant en un tuyau horizontal percé de trous très fins à des hauteurs différentes, et où l'eau arrivait sous pression. Ce mode d'arrosage est sans doute beaucoup plus parfait que le précédent, mais on pourrait craindre que les trous, en raison de leur faible diamètre, ne se bouchent, si l'eau n'est pas complètement dépourvue de matières en suspension ou s'il se forme un léger colmatage ¹.

Ces deux modes de distribution de l'eau — tourniquet hydraulique et pulvérisation — ont chacun leurs partisans : ce sont d'ailleurs les systèmes les plus communément employés pour l'épuration des eaux d'égout, et s'ils ne sont pas à l'abri de toute critique, ils n'en donnent pas moins l'un et l'autre d'excellents résultats.

*
* *

Fonctionnement et entretien.

Nous venons de décrire aussi complètement que possible le filtre à sable non submergé, il nous faut maintenant parler de son fonctionnement et de son entretien.

1. A la suite de nos recherches personnelles, l'eau étant préalablement dégrossie, nous donnons la préférence à ce procédé de pulvérisation qui répartit l'eau d'une façon plus égale.

Le sable, après avoir été passé, ainsi que nous l'avons dit plus haut, à travers un tamis à mailles de 1 m/m, est disposé dans les cuves aussi également qu'on le peut sur une hauteur de 1 m. 25 environ. Pour le tasser, le moyen le plus simple est de remplir d'eau les cuves jusqu'à ce qu'il soit complètement submergé et d'ouvrir brusquement le robinet d'écoulement. Le tassement, pour un sable fin, est à peu près de 0 m. 05, ce qui ramène la hauteur de la masse filtrante à 1 m. 20. Au cas où le tassement aurait été plus considérable, il est facile d'ajouter un peu de sable pour obtenir la hauteur demandée.

Lavage du filtre. — Cette opération terminée, il faut, avant de mettre son filtre en service, laver soigneusement les matériaux qui le composent. Il est bien évident que le lavage est fonction surtout de l'impureté du sable, et qu'il faudra beaucoup moins de temps pour rendre stérile un sable de carrière par exemple, qu'un sable limoneux provenant d'un cours d'eau peu rapide.

Néanmoins, c'est une opération assez longue et qu'on ne doit pas négliger avant de livrer l'eau filtrée à la consommation. Pour cela, il est bon de faire fonctionner l'appareil pendant une quinzaine de jours au moins à un débit de 5 à 6 mètres cubes par mètre carré et par 24 heures. Si l'on peut en contrôler le nettoyage par les analyses bactériologiques, il faut le faire, mais, dans le cas contraire, on peut sans crainte considérer comme suffisant un lavage d'une durée de trois semaines, ainsi qu'en témoignent les expériences de MM. Miquel et Mouchet.

Dans un filtre construit pour leurs recherches par le service des eaux de la ville de Paris, ils ont constaté que l'eau de la vanne alimentant cet appareil accusait après filtration le premier jour, 19.940 bactéries par centimètre cube, cinq jours après, 9.185, dix jours plus tard, 1.025, quinze jours plus tard, 525; à ce moment les compositions bactériologiques de l'eau de la vanne à son entrée et à sa sortie du filtre étaient à peu près équivalentes ¹.

Dans les petites installations, on peut stériliser les appareils à peu de frais.

Il est possible également d'abréger considérablement la durée du lavage par l'emploi d'un antiseptique. Dans ce cas, le filtre étant vidé, on le remplit d'eau additionnée de 1/100 d'hypochlorite de soude ou de 1/500 de formol à 40 ‰; on laisse le contact se prolonger plusieurs jours, puis on expulse le liquide antiseptique et l'on fait arriver ensuite l'eau naturelle. Au bout de deux ou trois jours de fonctionnement, les réactifs chimiques ne décèlent plus les substances désinfectantes et l'eau devient potable ².

Mais les auteurs ci-dessus ont fait à ce sujet une observation des plus intéressantes. Il survient souvent après la désinfection, surtout quand l'antiseptique peut apporter des substances salines qui se fixent ou se déposent sur les matériaux du filtre, des recrudescences de bactéries très remarquables dues à une nutrition passagère de la nappe d'eau souterraine. Ainsi l'eau d'un filtre qui accusait avant sa désinfect-

1. Extrait des *Annales de Montsouris*, t. V, 1^{er} fasc., 1904.

2. Extrait des *Annales de Montsouris*, t. V, 1^{er} fasc., 1904.

tion 2.085 bactéries par centimètre cube, en offrit après son traitement par l'hypochlorite et l'expulsion du désinfectant 4.675, 67.000, 150.000, puis le chiffre des bactéries alla sans cesse en diminuant ¹.

Nous croyons donc pouvoir recommander, pour éviter ces inconvénients, le lavage pur et simple avec l'eau à filtrer pendant la durée indiquée ci-dessus. Cette opération est peut-être un peu plus longue, mais elle a l'avantage d'être plus simple et de produire une épuration parfaite.

Débit. — Cette opération de lavage terminée, le filtre est prêt à fonctionner. Mais une question se pose aussitôt : quel doit être le *débit* maximum possible pour assurer une bonne filtration ? Ce problème a donné lieu à une foule de recherches et nous renvoyons aux travaux de MM. Miquel et Mouchet ceux qui désireraient des détails complets tant sur la vitesse de l'eau dans les filtres à sable non submergé que sur le volume qui chemine à travers la masse filtrante. Nous ne retiendrons que ces deux points ;

1^o Que la vitesse diminue avec la grosseur du grain du sable.

2^o Que cette vitesse diminue également avec la vitesse de l'eau amenée à la surface du filtre ¹.

Ces deux faits semblent se compenser, et en effet, on peut en juger par le tableau suivant, qui résume quatre expériences où MM. Miquel et Mouchet avaient ajouté de la fluorescéine à l'eau pour mesurer la vitesse de filtration de celle-ci ² :

1. Extrait des *Annales de Montsouris*. Dr Miquel.

2. Id.

	Débit par jour et par mètre carré.	Temps qu'a mis la fluorescéine pour traverser le filtre.
Premier essai.....	0 m. 392	6 h. 47
Deuxième essai.....	0 816	3 48
Troisième essai.....	1 630	2 20
Quatrième essai.....	3 081	1 10

Les débits ont donc une grande influence sur la rapidité avec laquelle l'eau traverse le sable ; cette rapidité n'est pas exactement proportionnelle au débit, mais elle augmente considérablement avec lui.

Quant à l'influence de la grosseur du sable sur la vitesse de l'eau, on peut s'en rendre compte par ce fait que dans deux filtres possédant, le premier, une couche de 0 m. 95 de sable de Fontainebleau, le second, une hauteur de 1 m. 50 de sable relativement gros, l'eau de source met 4 heures 4 minutes pour traverser le filtre à sable de Fontainebleau et seulement 2 heures 20 minutes pour traverser la couche beaucoup plus épaisse du sable de Seine ¹.

On ne peut donc pas dans la pratique donner de règle absolue sur le débit ; l'essentiel est de veiller à ce que la vitesse de progression de l'eau au sein de la masse filtrante ne soit pas inférieure à la vitesse d'arrivée, ce qui apparaît aussitôt par la submersion du sable.

Au début des essais ², on fit fonctionner les appareils à des débits relativement très faibles, tout d'abord 576, puis 1.500, 2.000 litres par mètre carré de surface filtrante et par 24 heures. Mais ceux-ci

1. Extrait des *Annales de Montsouris*, t. VI, 1^{er} trimestre 1905.

2. 16 mai 1904.

furent rapidement augmentés à 2 m³ 5 qui sont, d'après MM. Miquel et Mouchet, des débits que l'on ne doit pas dépasser pour les sables très fins de 0 m/m 1 à 0 m/m 2 de diamètre.

Avec des sables plus gros de 0 m/m 5 à 1 millimètre, c'est-à-dire ceux employés actuellement, on peut sans inconvénient pousser le débit jusqu'à 3 m³ 50, 4 mètres cubes, 4 m³ 50 et même 5 mètres cubes, ainsi qu'en témoignent les tableaux que nous publions plus loin. L'épuration est tout aussi parfaite, et l'on constate même que si on augmente la vitesse du débit, le nombre des microbes dans l'eau filtrée diminue, au contraire qu'il s'accroît notablement si on le ralentit.

Le chiffre relativement élevé que l'on peut rencontrer après filtration est dû à la pullulation des microbes vulgaires dans les cryptes du drainage. C'est pourquoi nous recommandons de laisser le plus petit espace possible entre le fond du filtre et le robinet d'écoulement, afin d'éviter la stagnation des eaux épurées. Nous reviendrons d'ailleurs sur cette question, car le lecteur pourrait, à juste titre, s'étonner du nombre assez considérable de microorganismes que l'on rencontre quelquefois dans les eaux après leur filtration.

*
* *

Entretien. — L'entretien du filtre à sable non submergé est des plus simples et la surveillance en est réduite au minimum.

Il suffit de veiller à ce que le sable ne soit jamais noyé ; or, le débit étant réglé au préalable, cela ne peut se produire que par suite du colmatage de la surface filtrante.

Les eaux à filtrer étant toujours limpides, soit qu'on emploie des eaux de source qui le sont naturellement, soit qu'on utilise des eaux de rivière qu'on aura eu soin de préfiltrer auparavant, le colmatage se fait très lentement en raison de l'humidité de l'atmosphère dans laquelle le filtre travaille et qui empêche une évaporation trop rapide. Cependant, avec des eaux dont le degré hydrotrimétrique est élevé, il se produit au bout de plusieurs mois de fonctionnement un léger durcissement de la surface irriguée.

Sous l'influence de l'argile en suspension dans l'eau ou de la chaux dissoute, le sable « s'agglomère de façon à produire un grès, mou d'ordinaire, facile à broyer par la simple pression de la main ; dans d'autres régions, plus voisines de la surface, quelques rognons plus fortement agglomérés doivent être écrasés avec une masse de bois ». Il faut alors enlever avec une truelle cette croûte qui, en général, ne dépasse pas quelques centimètres, et la remplacer soit par du sable neuf, soit par le même sable que l'on aura séché, pulvérisé, tamisé et lavé à pleine eau. Il suffira de procéder à ce nettoyage une ou deux fois au plus par an. Cela fait, le filtre peut être immédiatement remis en marche.

Dans les essais très méthodiques qu'ils ont pratiqués, MM. Miquel et Mouchet ont démontré que ces arrêts et remises en marche n'avaient aucune réper-

cussion appréciable sur la teneur en germes de l'eau filtrée ¹.

Voilà un avantage d'un grand intérêt et qui montre l'élasticité et la sécurité de fonctionnement du filtre à sable non submergé. N'en est-il pas ainsi dans la nature : les intermittences de pluie et de sécheresse influencent-elles la pureté des nappes souterraines en terrains perméables mais compacts, comme le sable homogène ².

1. *Nouvelles remarques sur le filtre à sable non submergé*, par MM. Miquel et Mouchet.

2. Dimitri, *Expériences effectuées sur un filtre à sable non submergé établi à Châteaudun*. Juin 1906.

CHAPITRE III

ÉTUDE DU FILTRE A SABLE NON SUBMERGÉ AU LABORATOIRE

Après avoir donné la description du filtre à sable non submergé et son fonctionnement, nous nous proposons de rappeler les expériences de laboratoire qui ont été faites à ce sujet et qui ont conduit aux installations en grand, dont nous parlerons ultérieurement.

Nous avons dit déjà que l'idée première de ce mode d'épuration revenait à M. Janet, mais ce sont MM. Miquel et Mouchet qui les premiers en ont tenté la réalisation et ont dirigé des expériences dans ce sens. Nous reproduisons ici un résumé de leurs travaux qui ont été publiés à diverses reprises dans les *Annales de Montsouris* (1904-1905-1906).

« Les appareils primitifs employés consistent en tuyaux de fonte de 0 m. 80 de diamètre, d'une hauteur variant de 1 m. 60 à 2 mètres, fermés en bas par une plaque et munis intérieurement d'un petit tube également de fonte de 0 m. 056 de diamètre fixé verticalement et tangentiellement suivant une des génératrices du cylindre. Le bout inférieur de ce petit tube est festonné et plonge dans les matériaux de drainage de façon à pouvoir être utilisé comme bêche d'eau filtrée. Cette bêche n'a eu d'autre utilité que de permettre d'apprécier à tous les instants au moyen d'un

siphon la hauteur de la nappe d'eau souterraine. L'écoulement de l'eau épurée a eu lieu librement par un robinet, grandement ouvert, piqué sur un petit tube à environ 0 m. 16 du fond du filtre.

Pour éviter la production d'oxyde de fer, ces appareils entièrement métalliques ont été recouverts d'une couche de coaltar. Dans le bas, sur la plaque de fonte, il est fait un drainage en briques sèches d'une hauteur totale de 0 m. 16, au-dessus duquel on dispose une couche de gros graviers de 0 m. 05 de hauteur, surmontée d'une couche de gravillons d'égale épaisseur. Pour retenir efficacement la couche de sable fin, on place au-dessus du gravillon une couche de gros sable de rivière de 0 m. 10 de hauteur. Ces matériaux de drainage et de soutien ont, comme l'indique la figure ci-contre, une hauteur de 0 m. 36.

Alors, il est versé sur ces matériaux, en le tassant, du sable suivant des épaisseurs variables. Les filtres employés n'étant pas tous semblables, nous en donnerons la composition exacte au fur et à mesure des analyses.

Le mode de répartition de l'eau utilisée pour la petite surface de 0 m² 5026 présentée par ces filtres d'essais est soit un tourniquet hydraulique, soit un tube en spirale percé de trous.

Quand il s'agit d'épurer des eaux de source qui ne transportent avec elles qu'une très faible quantité d'argile ou de détritiques organiques, nous disposons à la surface du sable une couche de quelques centimètres de gros graviers ayant pour but de prévenir les affouillements du sable et d'amener l'eau sous vitesse sur

une zone plus étendue. Au contraire, quand il s'agit d'eaux impures, fortement chargées de matières en suspension, et n'ayant fait au préalable l'objet d'aucun dégrossissement ni d'aucune préfiltration, il convient, pour protéger le filtre à sable fin, de le recouvrir d'une couche de sable commun qui retient les grosses

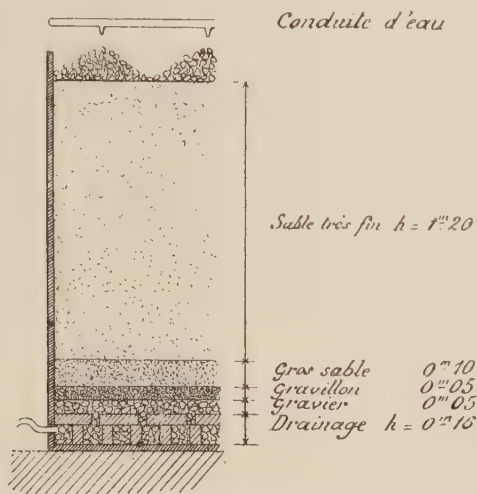


Fig. 2. — Filtre d'essais de M. le Dr Miquel.

impuretés et qu'on peut ultérieurement enlever facilement dès que la perméabilité de la surface cesse d'être convenable.

« Le filtre I qui nous a servi et nous sert encore à étudier l'épuration des eaux de rivière par les sables fins possède une section de $0\text{ m}^2\text{ 50}$ et une hauteur totale de 1 m. 60 . Il se trouve, en partant d'en bas, constitué de la façon suivante :

1° Par un drainage en briques de 0 m. 16 de hauteur.

2° Par une couche de gros gravier de 0 m. 17 de hauteur.

3° Par une couche de petit gravier de 0 m. 17 de hauteur.

4° Par une couche de gros sable de 0 m. 10 de hauteur.

5° Par une masse de sable de Fontainebleau de 0 m. 95 de hauteur.

6° Enfin par une couche superficielle de sable moyen de 0 m. 05 d'épaisseur.

Cette dernière couche de sable a été placée pour dégrossir l'eau avant son arrivée sur le sable de Fontainebleau.

L'eau de rivière, dont nous avons tenté l'épuration, est l'eau du canal de l'Ourcq, envoyée dans la canalisation parisienne pour le service public.

Cette eau est habituellement louche ou trouble, elle charrie une grande quantité de vase, ce qui la fait, avec raison, considérer comme la plus impure des eaux de rivière utilisées à Paris.

Aussi, au bout de quelques semaines, le sable de grosseur moyenne répandu à la surface s'imperméabilise-t-il sur une grande étendue ; si l'on attend six à huit semaines avant de pratiquer le nettoyage, le sable peut se recouvrir d'une nappe d'eau continue, soutenue par une couche vaseuse.

En outre, sous l'influence des impuretés charriées par la même eau, l'orifice de jauge, qui sous une pression invariable fournit un débit constant, va-t-il en se rétrécissant, ce qui explique pourquoi dans le tableau suivant on voit les débits moyens hebdoma-

daïres aller en décroissant jusqu'au nettoyage de cet orifice.

L'eau de l'Ourcq que nous analysons depuis de longues années offre une teneur moyenne de 30.500 bactéries. Le chiffre des bacilles du colon s'y montre très variable ; en général on le rencontre dans un volume d'eau de 0 cm³ 05 à 5 centimètres cubes.

Le filtre I, dont les matériaux de drainage avaient été antérieurement lavés par l'eau de source, fut mis à l'étude au mois d'avril 1904.

De la 1^{re} à la 8^e semaine, le chiffre des bactéries des eaux filtrées va sans cesse en décroissant, alors que l'eau brute offre une teneur microbienne inconstante, cent fois plus élevée. Durant ces deux premiers mois, les échantillons d'eau filtrée, analysés au point de vue des bacilles du colon, donnèrent des résultats négatifs. Pendant les 9^e et 10^e semaines, le filtre fut inondé accidentellement à plusieurs reprises par l'eau brute et le *Bacillus coli* passa dans l'eau filtrée. On profita de cet accident pour nettoyer la couche superficielle du sable moyen fortement imperméabilisé par l'argile charrié par l'eau de l'Ourcq, puis on éleva le débit de façon à atteindre, par 24 heures, une tranche d'eau voisine de 2 mètres (1 m. 975).

De la 11^e à la 21^e semaine, c'est-à-dire en juillet, août et septembre, l'eau de l'Ourcq, comme on l'observe tous les ans, s'appauvrit en bactéries et présente un pouvoir auto-infectant beaucoup plus faible qu'en hiver, aussi voit-on le chiffre des microbes de l'eau filtrée diminuer considérablement. Quant au *Bacillus coli*, il se montre constamment absent.

TABEAU I

Épuration de l'eau de rivière.

Sable fin de Fontainebleau.

Numéros des semaines.	Bactéries.		Tranche d'eau en 24 heures. m	Température du sable. o	Nombre de <i>Bacillus coli</i> dans l'eau filtrée. cm ³	
	Eau filtrée.	Eau brute.				
1.....	5435	11295	0,400	»	0	<i>Bacillus coli</i> dans 240
2.....	495	38130	0,460	»	0	» 520
3.....	465	13400	0,545	»	0	» 240
4.....	565	3710	0,575	17,3	0	» 760
5.....	220	6665	1,030	17,3	0	» 280
6.....	300	19285	1,200	17,6	0	» 720
7.....	300	46045	1,490	17,9	0	» 280
8.....	215	15800	1,490	19,0	0	» 400
9.....	190	54000	1,715	19,2	2	» 560
10.....	375	25285	1,975	19,2	1	» 360
11.....	215	28150	1,945	20,6	0	» 360
12.....	240	10835	1,915	23,8	0	» 240
13.....	150	10585	1,915	23,1	0	» 280
14.....	65	9760	1,915	20,5	0	» 280
15.....	45	14855	1,915	21,9	0	» 280
16.....	25	4715	1,860	20,6	0	» 280
17.....	12	2570	1,830	19,3	0	» 280
18.....	16	1765	1,745	17,8	0	» 280
19.....	25	3335	1,690	17,8	0	» 240
20.....	15	3615	1,575	17,3	0	» 240
21.....	25	8650	1,430	16,1	0	» 280
22.....	50	12815	1,975	14,3	3	» 480
23.....	50	18400	1,945	14,5	4	» 1240
24.....	25	16150	1,915	14,0	0	» 280
25.....	16	29565	1,860	11,7	0	» 280
26.....	35	39165	1,830	12,6	0	» 240
27.....	30	39835	1,830	11,0	0	» 520
28.....	40	47800	1,775	11,0	0	» 680
29.....	60	83650	1,715	10,4	0	» 240
30.....	50	36935	1,685	7,6	0	» 280
31.....	130	39530	1,660	7,3	8	» 480
32.....	170	29720	1,985	9,5	9	» 440
33.....	150	269475	1,975	9,1	2	» 480
34.....	215	164910	1,915	7,5	0	» 960
35.....	55	364675	1,860	5,9	0	» 560
36.....	50	37660	1,830	4,9	0	» 920
37.....	5	32500	1,800	5,6	0	» 560
38.....	9	21375	1,750	4,6	0	» 480
39.....	100	92370	1,985	4,0	3	» 320

Mais, par suite de l'imperméabilisation du sable superficiel, l'eau brute qui était arrivée à former des flaques d'une certaine étendue, parvint à toucher les parois du tube de fonte et le filtre s'infecta. (Apparition du bacille du colon).

Après un nouveau nettoyage du sable superficiel, le débit est ramené à 1 m. 975 et l'on voit le filtre se débarrasser, en 6 à 7 jours, du bacille du colon qui l'avait infecté.

A partir de cette époque, l'eau de l'Ourcq arrive beaucoup plus louche et l'imperméabilisation se montre très avancée à la 30^e semaine. Le *Bacillus coli* apparaît à la 31^e semaine ; on laisse encore fonctionner le filtre dans ces conditions défectueuses pour l'infecter profondément ; puis on rend au sable superficiel sa perméabilité primitive et l'on ramène le débit à une tranche correspondant à 1 m. 975 de hauteur par 24 heures.

De la 34^e à la 38^e semaine, l'eau filtrée se présente toujours épurée d'une façon satisfaisante et exempte de ce bacille qui est cependant répandu à la surface du sable au nombre de 10 à 20 millions par jour et par mètre carré. Mais l'imperméabilisation marche avec rapidité ; l'on constate à la fin de la 39^e semaine une nouvelle infection directe par l'eau brute retenue à la surface du sable et ayant gagné les bords du filtre (voir tableau I).

La première expérience avec le filtre I, qui a duré près de dix mois, se termine ici, et les essais poursuivis avec ce filtre ont lieu actuellement avec de *l'eau dégrossie au préalable*.

Le système préfiltreur est formé d'un drainage en carreaux de faïence, d'une petite couche de graviers et de 0 m. 17 de hauteur de sable moyen de rivière.

Ce petit appareil possédait exactement le quart de

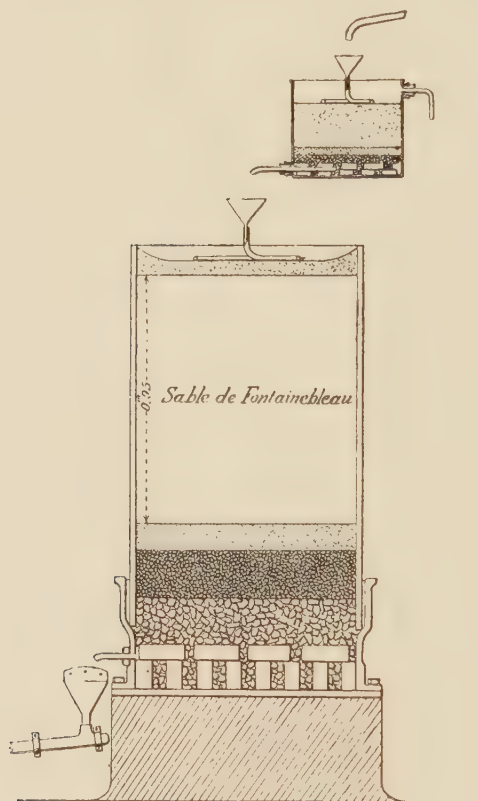


Fig. 3. — Filtre muni de son dégrossisseur.

la surface du filtre ; son addition a eu pour but de s'opposer autant que possible à l'imperméabilisation du sable superficiel du filtre. La figure ci-contre représente le dispositif adopté.

TABEAU II
Épuration de l'eau de rivière avec dégrossissage préalable.
Sable fin de Fontainebleau.

Numéros des semaines.	Eau brute d'Oued.		Eau dégrossie.		Eau filtrée.		Tranche d'eau en 24 heures. M	Tempé- rature du sable. O
	Bactéries par cm ³ .	Nombre de <i>Bacillus coli</i> .	Bactéries par cm ³ .	Nombre de <i>Bacillus coli</i> .	Bactéries par cm ³ .	Nombre de <i>Bacillus coli</i> .		
43.....	20170	333 dans 1000 ^{cm3}	12750	66 dans 1000 ^{cm3}	160	2 dans 800 ^{cm3}	2,021	7,5
44.....	11955	571 » 1000	5575	272 » 1000	25	0 » 720	1,945	6,7
45.....	9115	368 » 1000	5740	35 » 1000	30	0 » 800	1,981	7,4
46.....	3420	73 » 1000	4875	40 » 1000	25	0 » 800	1,973	9,4
47.....	4125	153 » 1000	4645	20 » 1000	20	0 » 720	1,935	10,5
48.....	3825	150 » 1000	3040	69 » 1000	20	0 » 800	1,973	11,3
49.....	5960	120 » 1000	2690	20 » 1000	15	0 » 800	1,935	11,8
50.....	4520	444 » 1000	1330	103 » 1000	12	0 » 720	1,945	11,7
51.....	3575	500 » 1000	1120	46 » 1000	9	0 » 800	1,987	12,0
52.....	1985	190 » 1000	670	28 » 1000	11	0 » 560	1,945	12,1
53.....	3275	500 » 1000	885	20 » 1000	8	0 » 720	1,900	12,3
54.....	8995	500 » 1000	1135	28 » 1000	9	0 » 840	1,987	13,1
55.....	8135	2666 » 1000	1415	55 » 1000	8	0 » 720	1,959	13,9
56.....	2615	2000 » 1000	935	55 » 1000	10	0 » 800	1,916	14,9
57.....	3365	1400 » 1000	960	42 » 1000	25	0 » 800	1,916	14,7
58.....	5055	333 » 1000	1595	90 » 1000	25	0 » 720	1,987	18,7
59.....	2105	250 » 1000	980	54 » 1000	14	0 » 480	1,916	17,7
60.....	2035	272 » 1000	725	66 » 1000	19	0 » 960	1,900	18,8
61.....	2580	1200 » 1000	725	107 » 1000	14	0 » 800	1,900	19,8

Avec l'eau de l'Ourcq que nous avons employée, il faut nettoyer la surface de ce petit appareil toutes les deux ou trois semaines seulement.

L'interposition du dégrossisseur entre le filtre proprement dit et l'eau de l'Ourcq venant de la canalisation a eu pour effet de faire disparaître l'imperméabilisation si gênante observée dans notre premier essai. Depuis plus de cinq mois que fonctionne le filtre I dans ces nouvelles conditions, il n'a pu être aperçu la moindre trace d'imperméabilisation à la surface du sable. Voici, d'ailleurs, le tableau résumant nos résultats obtenus (voir tableau II).

Nous y indiquons d'abord la teneur de l'eau brute en bactéries et en *Bacillus coli*, puis la teneur des eaux dégrossies et filtrées, également en bactéries et en bacilles du colon.

Il est facile de déduire de l'inspection des nombres qui précèdent que l'action du préfiltre qui s'exerce si puissamment au point de vue optique sur l'eau de l'Ourcq, la plupart du temps très louche, a pour effet immédiat de débarrasser cette eau des 2/3 environ des bactéries qu'elle renferme, et de ramener en moyenne le bacille coli à un chiffre dix fois plus faible.

L'eau dégrossie, qui a toujours présenté une limpidité assez voisine de l'eau filtrée, est déversée sur le filtre à sable avec une teneur bactérienne correspondant à celle d'une eau de rivière assez pure, et offre près de 3.000 bactéries par centimètre cube et 6 bacilles coli par 100 centimètres cubes.

Le filtre, qui reçoit cette eau à travers sa masse, la restitue avec un chiffre moyen de 16 bactéries par cen-

timètre cube, et 0 bacille du colon, si l'on élimine les chiffres de la 43^e semaine, donnant les résultats d'un filtre en voie de nettoyage.

*
* *

Une deuxième série d'expériences fut faite avec un filtre dont la constitution diffère de celle du premier.

« Il est composé :

D'un drainage de briques de.....	0 m.	16
D'une couche de gros gravier de.....	0	15
D'une couche de gravier moyen de.....	0	15
D'une couche de gros sable de.....	0	08
D'une couche de sable de rivière moyen.	0	26
Enfin d'une couche de sable de rivière très fin de.....	1	17

A la surface de ce dernier sable est disposée une couche de gros gravier de 0 m. 03 d'épaisseur.

C'est sur cette couche de gravier qu'est amenée au moyen d'un tube de plomb circulaire de 0 m. 50 de diamètre, percé de 7 orifices et placé concentriquement au tube de fonte, l'eau de source brute destinée à être purifiée. »

La différence essentielle entre ces deux appareils est que dans le premier, la masse filtrante est faite d'une couche de 0 m. 95 de *sable de Fontainebleau*, dans celui qui nous occupe, d'une couche de 1 m. 17 de *sable de Seine*.

MM. Miquel et Mouchet recherchaient « si l'on pouvait substituer, en vue de l'épuration des eaux de

TABLEAU III
Épuration de l'eau de source.
Sable fin de rivière de 0,5 à 0,8 mm.

Jours.	Température du sable, à la minute.	Eau filtrée.		Eau brute.		Observations.
		Température à la minute. en cm ³ .	Débit par centimètre cube.	Bactéries par centimètre cube.	Tranche d'eau en 24 heures en M.	
1 ^{er}	16,2	0,140	»	B. C.	0,401	Débit porté à 5 ^e du soir à 280 ^{cm3} .
2 ^e	15,9	0,150	»	B. C.	0,429	
3 ^e	16,5	0,130	»	N.	0,372	
4 ^e	16,9	0,150	»	N.	0,429	
5 ^e	17,3	0,145	3300	N.	0,415	
6 ^e	17,0	0,280	1480	N.	0,802	
7 ^e	17,0	0,277	2380	N.	0,793	
8 ^e	16,2	0,275	1145	N.	0,787	Onze prélèvements pour la recherche du B. C. : résultats négatifs.
9 ^e	16,2	0,275	1025	N.	0,775	
10 ^e	16,3	0,275	1040	N.	0,835	
11 ^e	15,8	0,272	715	N.	0,975	Débit porté à 1 ^h du soir à 416 ^{cm3} .
12 ^e	15,7	0,275	360	N.	0,775	
13 ^e	15,7	0,410	350	N.	1,020	
14 ^e	15,5	0,410	575	N.	1,174	
15 ^e	15,2	0,412	435	N.	1,174	
16 ^e	15,1	0,415	235	N.	1,180	
17 ^e	15,7	0,412	465	N.	1,188	
18 ^e	15,4	0,410	305	N.	0,905	Huit prélèvements pour la recherche du B. C. : résultats négatifs.
19 ^e	15,7	0,410	270	N.	1,174	
20 ^e	16,4	0,410	435	N.	1,174	
21 ^e	15,3	0,410	295	N.	1,174	
22 ^e	15,5	0,412	290	N.	1,180	
23 ^e	15,3	0,412	295	N.	1,180	
24 ^e	15,7	0,412	320	N.	1,180	
25 ^e	15,7	0,545	335	N.	1,559	Débit porté à 1 ^h du soir à 540 ^{cm3} .
26 ^e	16,1	0,545	260	N.	1,559	
27 ^e	16,4	0,545	315	N.	1,559	
28 ^e	16,5	0,540	425	N.	1,545	Neuf prélèvements pour la recherche du B. C. : résultats négatifs.
29 ^e	16,3	0,545	540	N.	1,559	
30 ^e	17,2	0,515	335	N.	1,559	

Nota. — Hauteur de la nappe d'eau souterraine : 0^m 125. Le chiffre des bactéries est donné après une incubation de 15 jours.
B. C. indique la présence du *Bacillus coli*, N. l'absence de ce bacille sous un volume d'eau égal à 40^{cm3}.

source, le sable fin de rivière au sable de Fontainebleau beaucoup plus ténu ». L'expérience a établi que ces substitutions ne nuisaient en aucune façon à l'épuration des eaux de source.

Dans le filtre I l'eau à épurer était de l'eau de rivière, dans le filtre suivant — que MM. Miquel et Mouchet appellent filtre III — l'eau à épurer est de l'eau de source beaucoup moins riche en bactéries.

Le tableau qui suit reproduit exactement les données relevées durant le premier mois de marche de ce filtre (voir tableau III).

L'expérience faite avec ce filtre dure encore, et, pour donner une idée précise de l'épuration des eaux de source par cet appareil, il nous suffira de rapporter la suite des essais commencés il y a dix mois.

Après quatre jours de fonctionnement, l'eau de la canalisation parisienne n'offre plus de bacille du colon à sa sortie du filtre.

Peu à peu le débit est augmenté régulièrement et le 50^e jour la tranche d'eau est de 2 m. 430 par 24 heures, ce qui correspond au débit du filtre à sable submergé. Durant cette période, on rencontre une seule fois le *Bacillus coli* communis. Du 39^e au 50^e jour, le service des eaux fit arrêter la distribution d'eau de source dans le service privé de minuit à six heures du matin et, comme conséquence de cette mesure, le filtre cessa de fonctionner pendant 19 jours de minuit à six heures du matin. Ces arrêts périodiques et journaliers ne paraissent avoir eu aucune fâcheuse influence sur la marche de l'appareil qui nous occupe.

Le 84^e jour, l'arrivée de l'eau est suspendue et n'est rétablie que 8 jours plus tard ; or on ne note aucune perturbation dans le fonctionnement du filtre.

Le débit est ensuite considérablement augmenté et l'on voit apparaître les deux jours suivants le *Bacillus coli*.

A part cet incident, le filtre continue à se bien comporter, et l'on ne rencontre plus le bacille du colon.

Durant cette période, l'appareil a fonctionné sans arrêt, soit exactement 10 mois, jour et nuit, sauf aux époques où il a dû subir un arrêt forcé par suite de l'absence de l'eau dans la canalisation ou dans un but expérimental.

Il est intéressant de remarquer que pendant ces 300 jours, il est passé dans le filtre environ 370.000 litres d'eau, charriant de 50 à 60 millions de bacilles coli, et qu'on n'a eu qu'exceptionnellement à constater leur présence dans les eaux filtrées (voir tableau IV).

Mais à la suite de ce long essai, il s'était produit à la surface du sable une nappe permanente que la concavité de la partie supérieure du filtre maintenait éloignée des parois. Cette imperméabilisation ne pouvait être due qu'à l'argile apportée par l'eau de source, aussi fut-il procédé à un nettoyage.

Le sable, qui s'était aggloméré de façon à produire un grès, fut enlevé sur une épaisseur de 10 à 15 centimètres, séché, pulvérisé, et lavé à grande eau. Il fut alors à nouveau étendu sur le sable et le filtre fut remis en activité. Au début, par suite d'une inadvertance, le robinet resta partiellement fermé et le sable fut submergé. On nota alors l'apparition du *Bacillus*

TABLEAU IV

Épuration de l'eau de source.
Sable fin de rivière de 0,50 à 0,08 mm.

Numéros des semaines.	Bactéries		Tranche d'eau		Température		Présence ou absence de <i>Bacillus coli</i> dans l'eau filtrée.
	Eau filtrée.	Eau brute.	24 heures.	en m	du sable.	o	
1.....	2585	2675	0,500		16,7		Lavage du filtre.
2.....	745	915	0,860		15,9		0 <i>Bacillus coli</i> dans 680 ^{cm3}
3.....	350	2135	1,175		15,5	0	» 600
4.....	320	1910	1,545		15,9	0	» 660
5.....	475	3055	1,545		16,0	0	» 520
6.....	350	1625	1,860		17,5	0	» 280
7.....	185	8490	2,145		17,0	0	» 660
8.....	225	8720	2,430		16,7	0	» 660
9.....	140	2375	2,430		16,6	1	» 660
10.....	90	3080	2,430		16,3	0	» 660
11.....	40	1355	2,430		15,4	0	» 660
12.....	80	875	2,430		15,3	0	» 520
13.....	»	530	»		»		Arrêt du filtre.
14.....	165	1005	2,430		14,9	0	» 660
15.....	280	540	3,200		14,3	2	» 680
16.....	35	420	3,200		11,1	0	» 520
17.....	255	685	3,200		14,2	0	» 1000
18.....	»	565	»		»		Arrêt du filtre.
19.....	»	530	»		»		Arrêt du filtre.
20.....	275	2455	3,200		13,4	0	<i>Bacillus coli</i> dans 520
21.....	170	495	3,200		13,6	1	» 520
22.....	210	275	2,430		13,9	0	» 480
23.....	230	500	2,430		14,6	0	» 520
24.....	115	610	2,430		13,2	0	» 480
25.....	210	720	2,430		13,8	0	» 520
26.....	400	570	2,430		14,2	0	» 480
27.....	560	1610	2,430		13,9	0	» 520
28.....	195	1570	2,430		13,7	0	» 520
29.....	130	345	2,430		12,9	0	» 520
30.....	17	200	2,430		12,7	0	» 520
31.....	40	600	2,430		12,4	0	» 560
32.....	160	1270	2,430		12,2	0	» 560
33.....	130	1885	2,430		12,2	0	» 520
34.....	130	345	2,430		12,9	0	» 560
35.....	135	220	2,430		13,1	0	» 520
36.....	55	200	2,430		12,7	0	» 560
37.....	80	105	2,430		12,1	0	» 520
38.....	55	1845	2,430		12,5	0	» 560
39.....	65	270	2,430		12,8	0	» 560
40.....	70	275	2,430		13,6	0	» 520
41.....	75	1005	2,430		13,2	0	» 560
42.....	70	535	2,430		12,4	0	» 560
43.....	55	440	2,430		12,3	0	» 520
44.....	20	235	2,430		12,0	0	» 440

TABLEAU V

Épuration de l'eau de source (suite).
Sable fin de rivière de 0,5 à 0,8 mm.

Numéros des semaines.	Bactéries.		Tranche d'eau		Présence ou absence	
	Eau filtrée.	Eau brute.	en 24 heures.	Température du sable.	du <i>Bacillus coli</i> dans l'eau filtrée.	
			m	o		
45.....			Arrêt du filtre, nettoyage.			
46.....			Arrêt du filtre, nettoyage.			
47.....	1225	620	2,410	12,2	0	<i>Bacillus coli</i> dans 400 ^{cm3}
48.....	385	1390	2,423	12,3	1	» 800
49.....	225	1445	2,426	12,7	1	» 748
50.....	220	750	2,430	12,5	0	» 800
51.....	235	330	2,435	13,8	0	» 800
52.....	130	960	2,425	14,6	0	» 720
53.....	280	795	2,420	14,7	0	» 720
54.....	200	2245	2,415	14,9	0	» 720
55.....	215	810	2,423	15,7	0	» 800
56.....	290	3915	2,445	15,8	0	» 720
57.....	240	5165	2,440	16,3	0	» 400
58.....	230	6855	2,445	16,0	0	» 940
59.....	270	9375	2,445	16,7	0	» 800
60.....	140	1900	2,445	17,1	0	» 800
61.....	170	260	2,445	16,7	0	» 800
62.....	210	7560	2,445	16,9	0	» 560
63.....	165	7155	2,417	16,2	0	» 720
64.....	65	1330	2,417	15,4	0	» 720
65.....	50	2230	2,430	15,9	0	» 720
66.....	90	2910	2,405	15,2	0	» 720
67.....	40	595	2,405	14,7	0	» 720
68.....	11	3275	2,388	14,1	0	» 800
69.....	6	2650	2,374	13,6	0	» 720
70.....	4	1240	2,388	14,4	0	» 800
71.....	10	1070	2,405	15,0	0	» 720
72.....	16	475	2,405	14,7	0	» 720
73.....	80	225	2,405	14,7	0	» 720
74.....	50	1115	2,388	14,7	0	» 720
75.....	50	2850	2,388	14,2	0	» 800
76.....	28	3275	2,388	13,4	0	» 720
77.....	17	1610	2,374	13,6	0	» 800
78.....	41	845	2,374	13,3	0	» 720
79.....	46	815	2,374	13,3	0	» 720
80.....	28	325	2,374	12,8	0	» 720
81.....	22	210	2,388	12,9	0	» 720
82.....	75	245	2,403	13,2	0	» 720
83.....	71	1130	2,408	13,4	0	» 720
84.....	112	960	2,395	13,4	0	» 720
85.....	37	425	2,374	12,5	0	» 880

coli. Cet incident mis à part, le filtre fonctionna avec une régularité remarquable et pendant 36 semaines l'épuration fut parfaite, ainsi qu'en témoigne le tableau n° V.

Au bout de cette période, le même phénomène

TABLEAU VI

Épuration de l'eau de source.

Sable fin de Seine de 0,5 à 0,8 mm.

Numéros des semaines.	Bactéries.		Tranche d'eau en 24 heures. m	Température du sable. o	Présence ou absence du <i>Bacillus coli</i> dans l'eau filtrée.	
	Eau filtrée.	Eau brute.				
91...	15115	2130	2,323	13,3		
92...	2900	1650	2,452	12,7	12	<i>Bacillus coli</i> dans 480 ^{cm3}
93...	830	2150	2,444	12,6	11	» 560
94...	935	2475	2,731	12,7	6	» 560
95...	210	4355	3,235	11,9	3	» 720
96...	120	5450	3,336	12,1	1	» 800
97...	85	745	3,860	12,1	0	» 640
98...	85	4225	3,860	13,1	1	» 800
99...	55	3000	3,832	13,0	0	» 720
100...	38	9920	3,804	13,1	1	» 800
101...	28	9855	3,888	13,4	0	» 800
102...	26	1580	3,888	12,8	0	» 640
103...	11	6865	4,223	14,1	0	» 800
104...	5	2030	4,800	14,0	1	» 800
105...	4	420	4,823	13,9	0	» 720
106...	37	2560	5,366	14,6	0	» 2000
107...	55	5885	5,301	15,7	0	» 920
108...	50	2785	5,429	15,0	0	» 800
109...	100	1960	7,016	15,3	0	» 720
110...	85	1895	6,873	15,4	0	» 800
111...	318	9050	5,987	16,4	0	» 720
112...	135	4430	6,243	16,7	0	» 720

d'imperméabilisation signalé plus haut se reproduisit et l'on procéda à un nouveau nettoyage.

Le filtre, entièrement démoli pour permettre d'étudier la composition bactériologique des diverses couches de sable, fut reconstitué; les matériaux qui en avaient

été extraits furent remis en place après avoir été grossièrement débarrassés des substances étrangères qui les souillaient (excréments de chats).

Ce filtre fonctionne alors avec un arrosage intensif qui n'avait pas été tenté jusqu'alors.

Le chiffre des bactéries de l'eau filtrée, d'abord très élevé, baissa considérablement, pour devenir à peu près normal dès la 5^e semaine.

Le chiffre du bacille du colon de l'eau filtrée suivit la même marche, et cette espèce, malgré le grand débit de l'appareil, ne se montra que sous des volumes d'eau filtrée très élevés. Ces bacilles retardataires semblent provenir surtout des déjections qui ont souillé le sable au moment de la reconstruction du filtre et devoir disparaître totalement quand un lavage parfait aura été effectué (voir tableau VI).

*
* *

Enfin une autre expérience, consécutive à cette dernière, fut faite avec un appareil analogue, dont la masse filtrante était constituée par une couche de sable de Seine de 1 m. 50 d'épaisseur.

Après un lavage assez long, car le sable était très vaseux, le filtre fonctionna d'une façon très satisfaisante, puisqu'on ne rencontra dans l'eau filtrée que trois fois seulement le bacille coli, pendant 75 semaines d'observation, et toujours sous des volumes d'eau considérables (800 centimètres cubes).

Nous nous dispensons de reproduire le tableau résumant ces analyses, les résultats étant sensiblement comparables à ceux publiés précédemment.

Nous avons insisté à dessein sur ces recherches faites par MM. Miquel et Mouchet qui sont d'une importance capitale à tous égards.

L'autorité des auteurs, le soin tout particulier qu'ils ont apporté à son étude, et une expérience de trois années mettent le filtre à sable non submergé à l'abri de toute critique. Si l'on ajoute que les appareils dont se sont servis MM. Miquel et Mouchet sont en quelque sorte des appareils primitifs et imparfaits, et que malgré cela, pendant toute cette période de tâtonnements, ils ont donné de très bons résultats, nous sommes en droit d'espérer, sans présomption, qu'il en sera de même pour les filtres construits depuis, avec les modifications justifiées par ces recherches.

CHAPITRE IV

APPLICATION DU FILTRE A SABLE NON SUBMERGÉ A L'ALIMENTATION PUBLIQUE

Nous n'avons jusqu'ici parlé que des expériences de laboratoire : les résultats, ainsi qu'on a pu en juger, sont excellents, mais on pourrait nous objecter qu'il n'en est peut-être pas ainsi pour une installation plus considérable, et que, dans la pratique, il sera très difficile de construire des filtres à grande surface qui réunissent toutes les qualités de ces petits appareils que nous venons d'étudier.

Bien au contraire, l'expérience a démontré que les applications en quelque sorte industrielles donnaient des résultats encore meilleurs ; et c'est ce que nous allons établir en faisant l'historique de l'installation de Châteaudun qui, à quelques détails près que nous signalerons en passant, peut servir de type pour les installations en grand. Nous rappellerons également celle toute récente de Rouen qui peut, bien qu'expérimentale, être considérée, de par les grandes dimensions du filtre, comme une véritable application industrielle.

I. INSTALLATION DE CHATEAUDUN

Sur le conseil de M. le professeur Courmont, nous nous sommes rendu à Châteaudun pour en visiter

l'installation et là, grâce au bienveillant accueil que nous a réservé M. Baudet, député et maire de cette ville, nous avons pu étudier de visu le fonctionnement du filtre à sable non submergé.

Il a été tout d'abord établi à Châteaudun, à la suite des travaux de MM. Miquel et Mouchet que nous avons relatés ci-dessus, un filtre d'expérience qui fonctionna pendant deux ans, et ce n'est qu'après ces essais que fut construit le véritable filtre devant servir à l'alimentation en eau potable de la ville.

Nous emprunterons à l'ouvrage de M. Baudet la description de ces deux appareils et les résultats des analyses qui ont été publiées jusqu'alors.

Le premier filtre fut installé dans une cuve de ciment de 4 m. $\times$ 4 m. présentant par conséquent 16 mètres carrés de surface avec une profondeur de 1 m. 30 centimètres.

Le fond de cette cuve, en pente régulière vers un des angles, fut recouvert de dalles en béton maigre de ciment soutenues par leurs angles à 0 m. 05 du fond sur des briques.

Au-dessus de ces dalles, 1 m. 20 de sable gréseux fin de Fontainebleau. La distribution de l'eau à épurer était faite par une série de tuyaux percés d'orifices équidistants à raison de 20 jets environ par mètre carré.

Le débit fut réglé, dans une première partie des expériences, à 2 m³ 500 par mètre carré et par 24 heures.

L'eau à épurer est une eau généralement limpide provenant d'une source dite de la « Fontaine ronde »,

VILLE DE CHATEAUDUN (EURE-ET-LOIR)

Eau de la Fontaine Ronde avant et après Filtration

DATE des PRÉLÈVEMENTS	EAU BRUTE		EAU FILTRÉE (1)	
	Nombre de germes par cc	SPÉCIFICATION	Nombre de germes par cc	SPÉCIFICATION
21 nov. 1905.	1498	Micrococcus aurantiacus, m. luteus, m. ureae, Bacillus aerophilus, b. flavus, b. fluorescens liquefaciens, <i>Bactéries putrides, Coli-Bacille.</i>	4	Micrococcus aurantiacus, m. ureae.
27 nov. 1905.	1918	Micrococcus luteus, m. ureae Bacillus aurantiacus, b. fluorescens liquefaciens, b. fluor. non liquef., Bacterium termo, <i>Bactéries putrides, Coli-Bacille.</i>	6	Micrococcus ureae, Bacillus aurantiacus, b. fluorescens non liquefaciens.
14 janv. 1906	300	Levure rose, Micrococcus candicans, m. ureae, Bacterium termo, Bacillus aureus, <i>Bactéries putrides, Coli-Bacille.</i>	3	Aspergillus flavus, Levure blanche, Bacillus aureus, b. fluorescens liquefaciens
5 févr. 1906	1130	Micrococcus aurantiacus, m. luteus, Bacillus flavus, b. fluor. liquef., b. fluor. non liquef., <i>Bactéries putrides, Coli-Bacille.</i>	2	Micrococcus luteus, Bacillus fluorescens liquefaciens et non liquefaciens.
12 févr. 1906	970	Micrococcus aurantiacus, m. luteus, Bacterium termo, Bacillus aerophilus, b. albus b. fluor. liquefaciens, <i>Bactéries putrides, Coli-Bacille.</i>	3	Micrococcus citreus, Sarcina citrina, Bacillus brunneus, b. mesentericus ruber.
19 févr. 1906	1029	Micrococcus luteus, m. roseus m. ureae, Bacterium termo, Bacillus aerophilus, b. aureus, b. fluorescens liquefaciens et non liquefaciens, <i>Bactéries putrides, Coli-Bacille.</i>	4	Micrococcus aurantiacus, Bacillus fluor. liquef. et non liquef.
26 févr. 1906	1481	Micrococcus ureae, Bacillus albus, b. aureus, b. flavus b. fluor. liquef. et non liq. <i>Bactéries putrides, Coli-Bacille.</i>	3	Micrococcus luteus, Bacillus aquatilis, b. brunneus.
5 mars 1906	1368	Micrococcus aquatilis, m. luteus, Bacterium termo, Bacillus flavus, b. fluor. liquef. et non liquef., b. subtilis, <i>Bactéries putrides, Coli-Bacille.</i>	5	Micrococcus aquatilis, Bacillus fluorescens liquefaciens et non liquefaciens.
12 mars 1906	601 + 330 931	Aspergillus albus, Micrococcus aquatilis, m. ureae, m. aurantiacus, m. luteus, Bacterium termo, Bacillus aureus, b. fluorescens liq. et non liquef., <i>Bactéries putrides, Coli-Bacille.</i>	4	Leptothrix nigra, Micrococcus aquatilis.

(1). Les recherches spéciales de *bactéries putrides, coli-bacille, bactéries pathogènes*, effectuées pour chacun de ces prélèvements sur 110 cc. d'eau ont donné des résultats négatifs.

(suite)

	18 AVRIL		24 AVRIL		1 ^{er} MAI		8 MAI		15 MAI	
	BRUTE	FILTRÉE	BRUTE	FILTRÉE	BRUTE	FILTRÉE	BRUTE	FILTRÉE	BRUTE	FILTRÉE
1.	11.500	11.750	12.125	12.500	11.750	12.750	10.250	10.500	11.000	11.625
2.	8 ^{cc} 040	8 ^{cc} 214	8 ^{cc} 477	8 ^{cc} 741	8 ^{cc} 214	8 ^{cc} 915	7 ^{cc} 166	7 ^{cc} 340	7 ^{cc} 688	8 ^{cc} 128
3.	22.3	22.3	22.0	22.0	22.3	22.3	27.2	27.2	28.3	28.3
4.	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	34.0	34.0	32.0	32.0
5.	20 ^d 8	20 ^d 8	20 ^d 8	20 ^d 8	20 ^d 8	20 ^d 8	21 ^d 5	21 ^d 5	21 ^d 5	21 ^d 5
6.	304 + 2100 muc.	5	238	1	273	2	356	3	575	2
7.	M. mucedo	P. glaucus	M. mucedo	Asp. flavus	P. glaucum	M. candidans	M. mucedo	M. aquatili*	M. mucedo	M. candidans
8.	B. termo	M. aquatili*	M. aquatili*	P. glaucum	M. aquatili*	Diploc. luteus	M. aquatili*	M. aurantiacus	M. aurantiacus	M. fereudous
9.	B. albus	M. luteus	M. luteus	B. fluor. liq.	M. aurantiacus		M. luteus		M. luteus	
10.	B. aureus		M. aurantiacus		M. ruber		M. ureae		B. asrophilus	
11.	B. fluor. liq.		B. fluor. liq.		B. fluor. liq.		B. fluor. liq.		B. fluor. liq.	
12.			B. lacticus		B. fluor. petr.		B. fluor. petr.		B. mycodas	
13.									B. viscosus	
14.	O	O	O	O	O	O	O	O	+	O
15.	O	O	+	O	+	O	+	O	+	O
16.	+	+	+	O	+	O	+	O	+	O
17.	O	O	O	O	+	O	+	O	+	O
18.	+	+	+	O	+	+	+	O	+	O

Voir la Note explicative à la page suivante

NOTE EXPLICATIVE DU TABLEAU PRÉCÉDENT

Dans ce tableau, les signes + et O ont la signification suivante :

En face des lignes *Bactéries putrides*, *coli-bacille*, le signe + veut dire que le *coli-bacille* ou les *bactéries putrides* ont été décelés par l'analyse.

Le signe O veut dire qu'ils n'ont pas été rencontrés.

B. ph. 100 c. c. eau = Bouillon phéniquéensemencé avec 100 c. c. de l'eau à analyser.

+ = Ce bouillon a cultivé, s'est troublé. •

O = Ce bouillon n'a pas cultivé, est resté limpide.

B. ph. 1 c. c. eau = Bouillon phéniqué, ensemencé avec 1 c. c. de l'eau à analyser.

+ = Ce bouillon a cultivé, s'est troublé.

O = Ce bouillon n'a pas cultivé, est resté limpide.

B. O. 1 c. c. eau 30° = Bouillon stérilisé ordinaire ensemencé avec 1 c. c. de l'eau à analyser.

+ = Ce bouillon a cultivé, s'est troublé.

O = Ce bouillon n'a pas cultivé, est resté limpide.

souillée, ainsi qu'en témoignent les expériences bactériologiques, par des infiltrations d'eaux superficielles contaminées.

On y rencontre d'une façon permanente un grand nombre de germes, ainsi que les espèces putrides et le bacille coli.

Les essais chimiques et surtout bactériologiques ont été faits par M. Dimitri, chef adjoint du laboratoire du Conseil supérieur d'hygiène de France.

Les premières analyses furent faites entre le 20 novembre 1902 et le 15 mai 1906, c'est-à-dire pendant six mois consécutifs (voir tableaux, pages 61, 62, 63).

Trois fois seulement l'eau brute fut reconnue exempte de bacille coli, le nombre des colonies bactériennes varia entre 293 et 1.498 par centimètre cube (numération faite après 15 jours de culture).

Pas une seule analyse ne révéla la présence du bacille coli dans l'eau filtrée, et le nombre des colonies varia de 1 à 6 par centimètre cube, chiffre maximum (obtenu après 15 jours de culture).

La comparaison des résultats sera plus facile à établir en résumant l'ensemble de ces recherches (voir tableau VII).

Durant cette première période d'essais, le débit de l'appareil fut maintenu à 2 m³ 500 par mètre carré et par 24 heures.

C'est du reste le débit maximum avec un sable aussi fin que celui qui était alors employé.

L'expérience faite avec ce sable était suffisamment probante; le sable fin gréseux fut extrait de la cuve et remplacé par du sable quartzeux de rivière, lavé et

tamisé dans des cribles dont les mailles présentaient 1 m/m 5 de côté. Comme cela c'était produit déjà dans le laboratoire de M. Miquel, le filtre chargé avec

TABLEAU VII

RÉSUMÉ DES RECHERCHES BACTÉRIOLOGIQUES

DATE DES PRÉLÈVEMENTS	EAU BRUTE		EAU FILTRÉE	
	Nomb. de germes par cc.	Recherche sur 110 cc. des espèces suspectes	Nomb. de germes par cc.	Recherche sur 110 cc. des espèces suspectes
21 Novembre 1905	1498	bact. putrides coli-bacille	4	néant
27 Novembre 1905	1918	bact. putrides coli-bacille	6	néant
14 Janvier 1906	300	bact. putrides coli-bacille	3	néant
5 Février 1906	4130	bact. putrides coli-bacille	2	néant
12 Février 1906	970	bact. putrides coli-bacille	3	néant
19 Février 1906	1029	bact. putrides coli-bacille	4	néant
26 Février 1906	1481	bact. putrides coli-bacille	3	néant
5 Mars 1906	1368	bact. putrides coli-bacille	5	néant
12 Mars 1906	601 +330 moisiss	bact. putrides coli-bacille	4	néant
19 Mars 1906	1137 +710 moisiss	bact. putrides coli-bacille	5	néant
26 Mars 1906	138 +157 moisiss	bact. putrides coli-bacille	2	néant
2 Avril 1906	293	néant	4	néant
9 Avril 1906	413	néant	4	néant
18 Avril 1906	304 +2100 moisiss	néant	5	néant
24 Avril 1906	238	coli-bacille	1	néant
1 ^{er} Mai 1906	273	coli-bacille	2	néant
8 Mai 1906	356	coli-bacille	3	néant
15 Mai 1906	575	bact. putrides coli-bacille	2	néant

ce sable fut plusieurs mois avant de donner un bon résultat, de plus quelques accidents (ruptures de tuyaux), inévitables dans un appareil d'expérience construit un peu à la hâte, retardèrent la période de fonctionnement normal.

Ce résultat ne fut obtenu qu'en janvier 1907.

Dès qu'il parut établi de façon définitive, on augmenta le débit qui passa successivement à 3 mètres cubes, 3 m³ 500, 4 mètres cubes, 4 m³ 500, 5 mètres cubes.

Pendant ces expériences, c'est-à-dire dans une période de quatre mois environ, le nombre des colonies varie de 118 à 5.320 par centimètre cube pour l'eau brute, et de 1 à 40 par centimètre cube pour l'eau filtrée. Le bacille coli toujours présent dans l'eau brute ne fut jamais rencontré dans l'eau filtrée.

Voici le tableau VIII qui résume ces résultats.

Les débits furent poussés ensuite à 6, 7, 8, 9 et 10 mètres cubes par mètre carré et par 24 heures ; chaque augmentation fut suivie de l'apparition de quelques bacillus coli. Après quelques jours, la filtration reprit ensuite son cours normal jusqu'au débit de 10 mètres cubes.

Mais le filtre se trouva comme forcé par cet apport exagéré d'eau souillée et il resta pendant plusieurs semaines sans pouvoir reprendre sa marche régulière et parfaite.

Il semble que par cet afflux abondant d'eau, on produisait dans les fins canaux de la masse filtrante une sorte de pression qui faisait affluer les bactéries et ensemençait abondamment toutes les couches qu'un

retour à une marche plus lente et normale avait ensuite plus de peine à laver.

Ce filtre d'expérience fonctionne encore actuellement, et au moyen d'une petite pompe élévatoire,

TABLEAU VIII

RÉSUMÉ DES RECHERCHES BACTÉRIOLOGIQUES
FAITES DU 7 JANVIER 1907 AU 9 AVRIL 1907
PAR LE LABORATOIRE DE BACTÉRIOLOGIE DE LA VILLE
DE PARIS (D^r MIQUEL, Directeur)

Filtre d'expérience de 16 mètres carrés en sable de la Loire tamisé à la maille de 1, 5 mm., débit croissant de 2^{m3} 5 à 5^{m3} par mètre carré et par 24 h.

DATES DES PRÉLÈVEMENTS	EAU BRUTE		EAU FILTRÉE		DÉBIT DU filtre par mq et par 24 h.
	Nomb. de germes par cc.	Recherche sur 80 cc. du coli-bacille	Nomb. de germes par cc.	Recherche sur 80 cc. coli-bac.	
7 Janvier 1907	1065	coli-bacille	37	néant	2 ^{m3} 500
15 Janvier 1907	5320	—	40	—	2 . 500
22 Janvier 1907	2355	—	15	—	2 . 500
29 Janvier 1907	1545	—	8	—	3 ^{m3}
5 Février 1907	545	—	3	—	3 . 500
11 Février 1907	1064	—	24	—	3 . 500
18 Février 1907	118	—	6	—	4 ^{m3}
5 Mars 1907	415	—	0	—	4 »
12 Mars 1907	2770	—	5	—	4 »
19 Mars 1907	565	—	3	—	4 . 500
26 Mars 1907	1875	—	2	—	4 . 500
3 Avril 1907	1455	—	1	—	5 ^{m3}
9 Avril 1907	575	—	13	—	5 »

M. Baudet filtre de l'eau puisée directement dans le Loir. Cette petite rivière est à peu près stagnante en cet endroit, et l'eau croupissante est contaminée par une série de fosses d'aisances, s'y déversant à quelques

mètres en amont du filtre. Après épuration, cette eau est parfaitement limpide, ne contient ni coli-bacille, ni bactéries putrides, et, de plus, est très agréable à boire, ainsi que nous avons pu en juger nous-même.

Cet appareil ainsi installé fournit donc, comme en témoignent les tableaux ci-dessus, des résultats excellents.

C'est à la suite de cette expérience industrielle que le Conseil supérieur d'Hygiène de France fut sollicité de donner un avis favorable à une installation du même genre, destinée à fournir l'eau potable nécessaire aux habitants de Châteaudun.

Le Conseil supérieur autorisa la construction d'un filtre de 250 mètres carrés de surface, destiné à fournir de 800 à 1.000 mètres cubes par 24 heures.

Nous donnons ici le plan et la coupe de cet ouvrage qui vient d'être terminé et mis en service (fig. 4, 5 et 6).

Ainsi qu'on peut s'en rendre compte par la figure, le réservoir d'eau brute se trouve au-dessus des cuves à sable. « Ce mode de construction, peu économique en soi, offre l'avantage de ne présenter que 1 m. 35 de dénivellation et par conséquent une très faible différence de débit et de pression à la surface du sable¹. » Mais, si l'idée est bonne, la construction d'un réservoir ainsi placé constitue une dépense inutile et relativement considérable, et M. Baudet nous a avoué qu'il était préférable de le supprimer et de faire arriver directement l'eau à la surface du filtre, sous une pression convenablement réglée au préalable.

1. L. Baudet, *Le filtre à sable non submergé*.

Demi-coupe en long suivant ab

Demi-coupe en long suivant cd

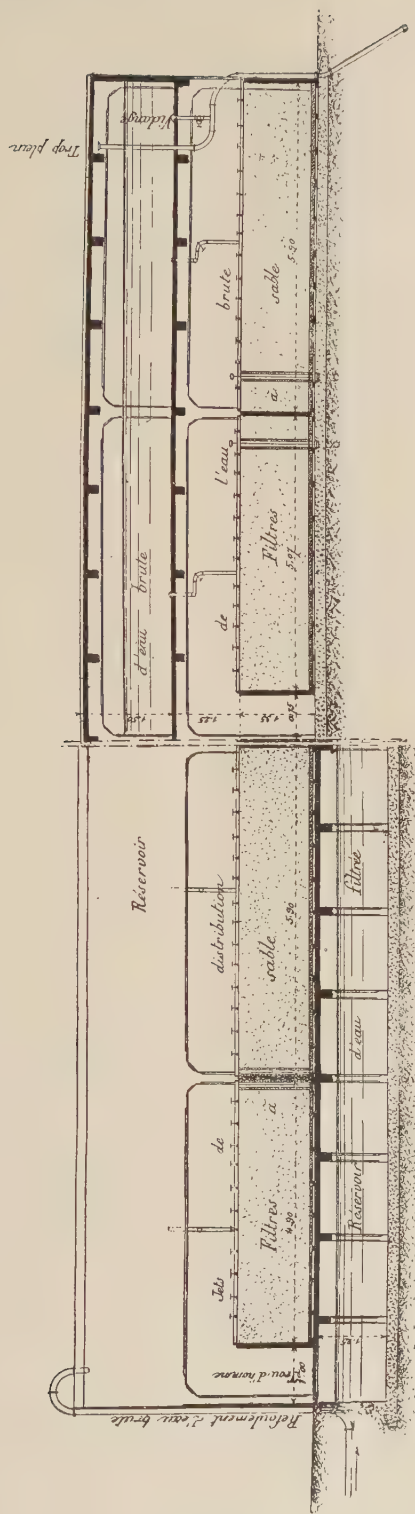


Fig. 5. — Filtre à sable non submergé de Châteaudun. Demi-coupe suivant a, b et c, d.

Fig. 6. — Filtre à sable non submergé. Plan du dessin du sable.

Les cuves à sable ont une largeur uniforme de 2 m. 75, ce qui permet d'exercer une surveillance facile des ajutages de distribution et de les atteindre facilement d'un côté ou de l'autre, par les allées et les couloirs qui bordent les cuves dans le sens de leur longueur.

Le sable brut a été passé dans un tamis à mailles de 1 mm. 1/2 de côté. Il a fallu environ 600 mètres cubes de sable brut pour obtenir les 120 mètres cubes de sable trié.

La composition moyenne de 200 grammes de sable des cuves, déduite de l'examen d'échantillons prélevés sur chacune des 16 cuves du filtre s'établit ainsi :

200 grammes de sable trié = 106 cm³, contiennent en poids :

120 gr. 50, soit 60 % de grains plus fins que 0 mm. 75 ;

32 gr. 20, soit 16,10 % de grains plus gros que 0 mm. 75 et plus fins que 1 mm. ;

47 gr. soit 23,50 % de grains plus gros que 1 mm. et plus fins que 1 mm. 1/2 ;

0 gr. 10 soit 0,05 % de grains plus gros que 1 mm. 1/2 et plus fins que 2 mm. ;

0 gr. 20 soit 0,10 % de grains plus gros que 2 millimètres.

La distribution de l'eau à la surface du sable est assurée par environ 5.000 jets soit 20 au mètre carré.

Nous avons exposé plus haut, dans notre description du filtre à sable non submergé, le mode de distribution de l'eau à la surface du sable employé à Châteaudun (voir p. 22), nous n'y reviendrons pas. La figure 7 donne le détail d'un jet de distribution.

Nous avons dit également que l'on aurait avantage à pousser plus loin le tamisage, et que, dans leurs nouvelles instructions, MM. Dr Miquel et Baudet ont recommandé le sable tamisé à 1 millimètre de préférence au sable de 1 mm. 50 employé à Châteaudun.

La mise en service paraît être plus rapide avec cette finesse plus grande, et le débit peut être poussé sans

crainte de submersion
au delà de 4 mètres cubes
par mètre carré et par
24 heures.

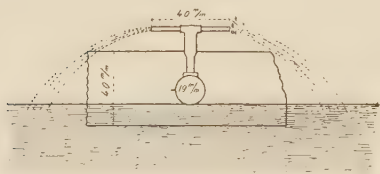


FIG. 7. — Détail d'un jet de distribution.

Toutefois, depuis trois années que ce filtre fonctionne, l'eau épurée a toujours présenté une composition bactériologique égale, et le bacille coli ne s'y est jamais rencontré. M. Baudet, qui a installé à Châteaudun un laboratoire d'analyse des plus complets, contrôle à tout instant la marche de la filtration, et se livre encore à des recherches incessantes, tendant à perfectionner, surtout en le simplifiant, ce système d'épuration des eaux.

A part quelques modifications, telles que suppression du réservoir d'eau brute, finesse plus grande du sable et amélioration du mode de répartition de l'eau par l'un des systèmes que nous avons décrits antérieurement, voilà une installation qui peut servir de modèle pour les installations futures.

II. INSTALLATION DE ROUEN

Nous terminerons ce long chapitre, résumant les recherches faites jusqu'à ce jour sur le filtre à sable non submergé, par le compte rendu de l'expérience qui eut lieu en 1909 à Rouen, sous la direction de M. Dimitri, sur la demande de la municipalité, dans le but d'améliorer l'alimentation de la ville en eau potable par le procédé qui nous occupe. Cette installation fut établie à peu près sur le type de celle de Châteaudun, et les essais se poursuivirent pendant près d'une année. En voici le détail et les résultats publiés par M. Dimitri lui-même :

« Le filtre est constitué par un cuvelage en béton de 6 m. 20 de longueur, 3 m. 20 de largeur et 1 m. 50 environ de hauteur, soit 19 m² 85 de surface.

Le fond est disposé de façon à collecter les eaux de filtration au moyen de dalles placées sur des supports. L'évacuation des eaux se fait directement par un caniveau extérieur. Sur ces dalles est disposée une couche de sable de 1 m. 20 d'épaisseur.

Ce sable devrait avoir une grosseur de grains de 1 millimètre à 1 mm. 1/2 et être bien homogène ; il laisse malheureusement un peu à désirer à ces deux points de vue.

Le sable est bien nivelé et affleure presque au niveau des parois du cuvelage. Sur celui-ci, sont disposées des rampes de canalisation branchées sur une nourrice latérale. Ces rampes sont à 20 centimètres environ au-dessus du sable. Elles sont munies de trous équidistants les uns des autres sur lesquels sont raccordés de petits ajutages doubles.

Il y a ainsi 10 rampes, portant chacune 39 ajutages doubles. Le montant total des jets répartis sur le sable est donc de 700.

D'une façon générale, cette installation est bien établie, sauf en ce qui concerne la qualité du sable, qui devrait être plus fin et mieux criblé.

Le filtre est situé dans une salle close, un peu en contre-bas du sol; cette salle est à peu près obscure, elle est à l'entrée du Jardin des Plantes.

TABLEAU IX
EXPÉRIENCES EFFECTUÉES AVEC L'EAU DE SOURCE

DATES	EAU BRUTE			EAU FILTRÉE			DÉBITS PAR mq et 24 h.
	Nomb. de germes par cc.	Bact. put. sur 110 cc.	Coli-bac. sur 110 cc.	Nomb. de germes, par cc.	Bact. put. sur 110 cc.	Coli-bac. sur 110 cc.	
n° 1. 8 Nov. 1908	776	0	+	18	0	0	4 ^{m.3} 3
n° 2. 15 Nov. 1908	153	0	+	4	0	0	3 , 7
n° 3. 22 Nov. 1908	53.760	0	0	12	0	0	5 , 8
n° 4. 29 Nov. 1908	320	0	0	16	0	0	6 , 0
n° 5. 4 Déc. 1908	46	0	0	13	0	0	5 , 9
n° 6. 13 Déc. 1908	4000	+	0	580	+	0	5 , 9 ¹
n° 7. 27 Déc. 1908	149	+	+	54	+	+	3 , 9
n° 8. 5 Janv. 1909	186	0	+	12	+	+	4 , 1

Expériences avec l'eau de source. — Les premières expériences ont été faites avec de l'eau de source de la ville non préfiltrée. J'ai exécuté moi-même tous lesensemencements bactériologiques sur place, ainsi que les mesures de débit.

Ces expériences ont été interrompues, le 5 janvier

1. Eau très trouble; le filtre est submergé.

1909, en raison du mauvais fonctionnement de l'appareil.

L'eau de source qui est ordinairement limpide, est arrivée très trouble à la date du 13 décembre 1908 (expérience 6), il s'en est suivi une submersion par suite du colmatage du filtre.

A ce moment, le débit est très élevé, 3 m³ 9 par mètre carré et par 24 heures, la submersion s'est produite très rapidement.

A partir de ce moment, les résultats bactériologiques des essais, poursuivis encore pendant deux semaines, ont démontré que le sable avait été contaminé dans sa masse : les expériences ont donc été interrompues.

Expériences avec l'eau de la Seine. — La deuxième série d'expériences a été faite avec de l'eau de Seine, préfiltrée dans le but : 1^o d'avoir une eau plus contaminée que l'eau de source précédente ; 2^o d'opérer sur une eau constamment limpide.

La première partie des essais ¹ a été faite avec de l'eau préfiltrée en passant, ainsi que nous l'avons dit plus haut, dans une série de bassins contenant du gravier et du sable de grosseur différente.

L'eau n'étant pas suffisamment limpide, le mode de préfiltration précédent fut remplacé par un filtre genre américain, fonctionnant avec addition de sulfate d'alumine dans l'eau (voir plus haut).

Grâce à la limpidité de l'eau, nous avons pu employer des débits élevés, 6 m³ par exemple.

1. Expériences de 1 à 7 compris.

TABLEAU X
EXPÉRIENCES EFFECTUÉES AVEC DE L'EAU DE LA SEINE

DATES	EAU BRUTE		EAU PRÉFILTÉE		EAU FILTRÉE		Débit par m ³ et par 24 h.
	Nomb. de germes par cc.	de Bact. put. sur 110 cc.	Coli sur 110 cc.	Nomb. de germes par cc.	de Bact. put. sur 110 cc.	Coli sur 110 cc.	
n° 1. 18 Mars 1909	8280	+	0	1615	+	0	3 m ³
n° 2. 31 — 1909	9240	+	+	280	+	0	3 —
n° 3. 9 Avril 1909	15925	+	+	236	0	0	3 —
n° 4. 16 — 1909	2156	+	0	182	0	0	3 —
n° 5. 26 — 1909	577	+	+	199	+	0	3 —
n° 6. 2 Mai 1909	624	+	+	182	+	0	3 —
n° 7. 9 — 1909	330	+	0	99	+	0	3 —
n° 8. 15 — 1909	1937	+	0	351	+	+	3 —
n° 9. 24 — 1909	229	+	+	344	+	0	3 —
n° 10. 11 Juin 1909	923	+	+	240	+	0	4 —
n° 11. 18 — 1909	920	+	+	167	0	0	4 —
n° 12. 25 — 1909	700	+	+	175	+	0	4 —
n° 13. 5 Juil. 1909	594	+	+	540	+	0	4 m ³ 4
n° 14. 13 — 1909	400	+	+	144	+	0	5 — 1
							6 —

Le fonctionnement de l'ensemble a été parfait, et ces dispositifs sont essentiellement pratiques pour filtrer rationnellement et utilement des eaux de rivière.

Le tableau précédent résume les 14 expériences hebdomadaires, faites avec de l'eau de la Seine, la première moitié (1 à 7) avec préfiltre ordinaire, la deuxième moitié (7 à 14) avec coagulation par le sulfate d'alumine et filtration rapide.

Conclusions. — Il résulte des expériences faites avec l'eau de *Seine* que le meilleur procédé de préfiltration a été la filtration rapide par le filtre, genre américain, avec coagulation par le sulfate d'alumine à la dose de 3 à 5 grammes par mètre cube d'eau.

La filtration par le sable non submergé après préfiltration de l'eau brute a donné pendant quatre mois consécutifs des résultats parfaits, au point de vue bactériologique ¹.

Les essais et ensemencements ont été faits chaque fois par nous-même sur place. Le nombre de germes a été très réduit, les bactéries putrides et le coli bacille arrêtés d'une façon constante, ceci est le point important qui différencie essentiellement le filtre à sable non submergé du filtre à sable submergé.

On remarque, une seule fois, la présence de bactéries putrides, sans coli bacille, le 15 mai. A ce moment, le préfiltre ordinaire fut remplacé par le filtre américain ou coagulation, il y avait eu, par insuffisance de préfiltration, un commencement de submersion.

1. Le filtre a donné de 60 à 122 mètres cubes par 24 heures, soit l'alimentation d'une ville de 1.000 à 1.500 habitants.

Nous faisons en outre remarquer que le débit du filtre a été poussé à 4 mètres cubes, 5 mètres cubes, 6 mètres cubes même, débit presque triple de ceux auxquels il convient de faire fonctionner les filtres submergés. Ce procédé ainsi conduit donne entière satisfaction pour l'épuration des eaux de rivière destinées à l'alimentation publique en répondant à toutes les exigences hygiéniques. »

Paris, le 24 juillet 1909.

G. DIMITRI,

Chef adjoint du laboratoire
et auditeur au Conseil supérieur d'hygiène publique.

Nous n'insisterons pas sur ces conclusions auxquelles nous ne pouvons rien ajouter. Nous nous permettrons cependant de faire remarquer que les seules fois où le coli-bacille et des bactéries putrides ont passé à travers le filtre, soit à partir du 13 décembre dans le premier groupe d'expériences et le 15 juin dans la deuxième série, c'est lorsque celui-ci a fonctionné à la façon d'un filtre à sable submergé, et c'est là un argument irréfutable en faveur du système que nous étudions.

CHAPITRE V

RECHERCHES PERSONNELLES SUR LE FILTRE A SABLE NON SUBMERGÉ

Notre étude sur le filtre à sable non submergé pourrait se terminer là. Les nombreuses expériences que nous avons résumées sont assez concluantes. Mais nous avons cru intéressant de les contrôler et de les compléter. Grâce à l'obligeance de M. le Professeur Courmont, nous avons pu construire dans ses laboratoires un filtre pour nos recherches personnelles : c'est le résultat de ces recherches que nous allons exposer.

Nous nous sommes employés à réaliser l'appareil le plus simple et le plus économique pouvant servir à la fois aux études de laboratoire et à l'alimentation en eau potable d'une petite collectivité.

Notre filtre est formé d'un tuyau cylindrique de ciment haut de 1 m. 50, d'un diamètre intérieur de 0 m. 80 et fermé à une extrémité par un fond de béton. Il est utile, bien que ces tuyaux soient vendus comme absolument étanches, d'en enduire soigneusement l'intérieur d'une faible couche de ciment très fin et lissé, pour empêcher l'eau de filtrer à travers les parois.

Sur le fond sont disposées deux rangées de briques sur champ alternant en chicane et dont les intervalles sont comblés par les graviers de 0,02 centimètres de diamètre. Au-dessus, trois couches de 0,05 centimètres

d'épaisseur chaque, faites, la première de bas en haut, de gravier de 0,02 à 0,04 centimètres de diamètre, la deuxième de gravillon de 0,03 millimètres à 0,01 centimètre, la troisième de sable grossier de 3 millimètres. Cet assemblage de briques et de gravier de grosseur différente constitue le drainage du filtre. C'est d'ailleurs celui préconisé par le Ministère de la guerre que nous avons déjà décrit.

Pour des filtres réduits, comme celui qui nous occupe, il est difficile de remplacer ce système de drainage par des dalles de béton maigre. Nous avons dû y renoncer en raison des nombreux joints de ciment nécessaires pour unir entre eux les fragments de dalles et qui diminuaient d'autant la surface filtrante.

L'expérience de Châteaudun démontre qu'il n'en est pas ainsi pour les installations plus considérables.

La masse filtrante est constituée par une couche de sable de 1 m. 20 d'épaisseur, et tamisée à la maille de 1 millimètre de côté ⁴. Ce sable, extrait des carrières de Montchat, aux environs de Lyon, provient du massif granitique des Alpes. Il est composé presque exclusivement de quartz et de mica, et ne contient qu'une faible proportion de calcaire, ce qui le rend très propre à la filtration.

A la partie inférieure de notre appareil se trouve, immédiatement au-dessus du fond béton, un robinet dont le débit peut varier suivant la pression de 9 à 11 litres à la minute, soit 15 mètres cubes environ par 24 heures.

⁴. Pour faciliter cette opération de tamisage, il est indispensable d'opérer sur un sable très sec.

Nouveau mode de distribution de l'eau.

Le mode de distribution de l'eau à la surface du filtre a été pour nous l'objet de nombreux tâtonnements avant d'arriver à une solution pratique.

Nous avons essayé, au début de nos expériences, un tourniquet hydraulique ; mais, pour en assurer le fonctionnement, il fallait une pression relativement considérable et l'eau se trouvant projetée vers la périphérie, la partie centrale de notre filtre ne se trouvait pas arrosée.

A ce système nous avons substitué une plaque de zinc percée de trous sur laquelle était distribuée l'eau.

Avec ce procédé, l'eau tombe goutte à goutte ou par minces filets, mais toujours à la même place et creuse rapidement de profonds godets dans le sable où elle s'accumule : de plus une faible partie seulement de la surface du filtre travaille. C'est le reproche que nous avions déjà adressé à l'installation de Châteaudun.

Finalement, nous avons adopté un système de pulvérisation qui n'a pas encore été employé, à notre connaissance, pour le filtre à sable non submergé, du moins dans les petites installations. Il se compose, ainsi que le montre la figure 8, d'un champignon de laiton percé de trous très fins et fonctionne à la façon d'un jet d'eau.

Ces trous, au nombre d'une trentaine, sont percés dans le prolongement des rayons, les plus rapprochés du centre presque perpendiculairement à la surface du filtre, les plus extérieurs d'autant plus obliques qu'ils sont plus voisins de la périphérie. (Voir fig. 8, coupe suivant AB.)

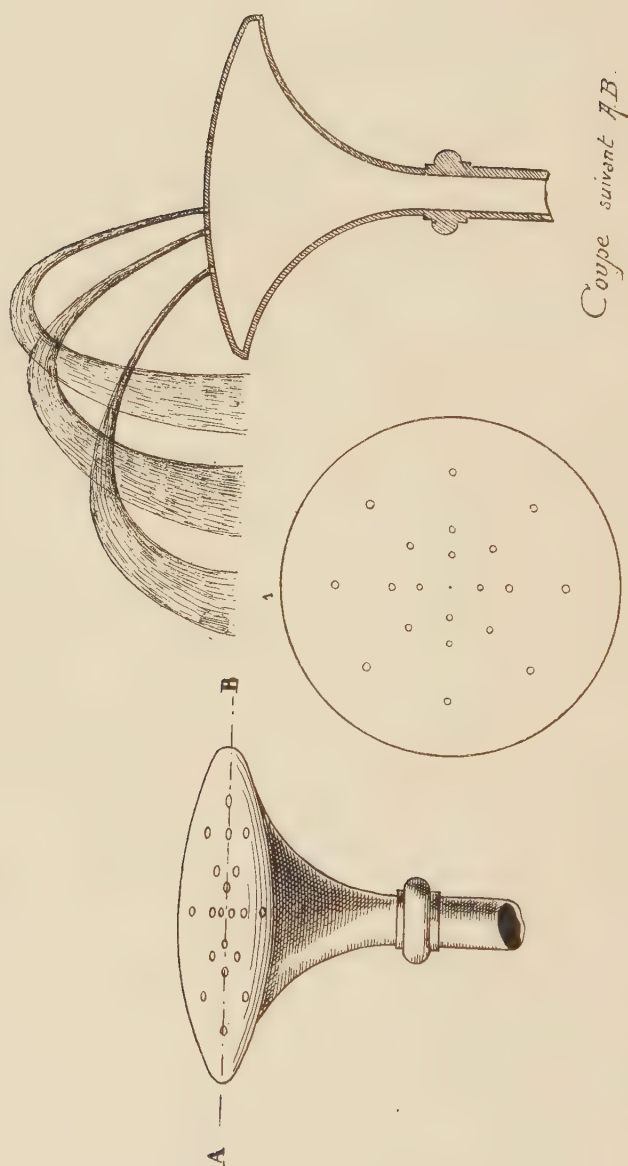


FIG. 8. — Mode de distribution de l'eau à la surface du sable.

De cette façon les jets sont projetés à une distance variable, et tout le sable est arrosé par une pluie très

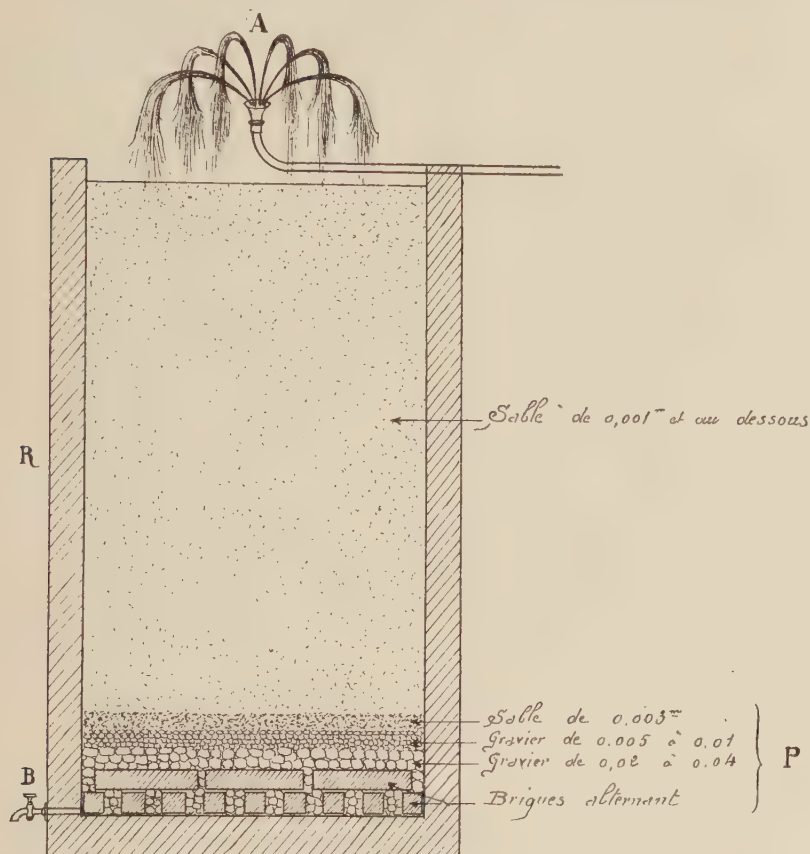


FIG. 9. — Filtre ayant servi à nos expériences.

fine. Ce procédé, outre l'avantage d'une répartition irréprochable, a celui de ne modifier nullement la surface du sable, en raison de la très grande division de l'eau.

La seule objection que l'on puisse faire à ce système et que nous avons déjà soulevée plus haut est l'obstruction de ces trous très fins par des corps étrangers, tels que : matières terreuses, mousses, algues ou détritiques quelconques. Mais elle n'existe guère si l'on emploie de l'eau préfiltrée convenablement auparavant : d'ailleurs un mode analogue de distribution est depuis longtemps employé avec succès pour les lits bactériens des eaux résiduaires ¹.

En outre, depuis six mois que notre filtre fonctionne, nous n'avons constaté aucune diminution de débit. Au cas où, par suite de la dureté des eaux, il se produirait obstruction ou colmatage, il serait facile, deux fois par an au maximum, de procéder au nettoyage du distributeur.

Tel est l'appareil que nous avons construit et expérimenté nous-même et que reproduit la figure (9).

La première opération à laquelle nous avons dû soumettre notre filtre fut celle du lavage du sable et des matériaux de drainage.

Pour obtenir une stérilisation complète, nous l'avons fait fonctionner pendant trois semaines à un débit de 6 m³ par mètre carré de surface filtrante et par 24 heures : l'eau d'alimentation était celle de la ville de Lyon. Au bout de ce laps de temps, le débit fut réduit à 3 m³, débit que nous avons maintenu constant pendant toute la durée de nos expériences. Nous pou-

1. M. L. Gautier, ingénieur sanitaire, qui s'occupe spécialement de l'épuration générale des eaux et sur les appareils de qui nous aurons l'occasion de revenir dans le cours de notre étude, préconise également, pour les grandes installations des filtres à sable non submergés, la distribution par becs pulvérisateurs.

vions considérer ce lavage de 3 semaines comme suffisant, — le nombre des bactéries dans l'eau filtrée étant seulement de 145 par cc. Mais cette opération fut prolongée malgré nous en raison des nombreux retards dus aux modifications successives apportées au mode de distribution de l'eau et ce n'est guère qu'après un mois et demi que nous avons pu commencer nos essais.

Cependant la qualité de l'eau filtrée s'était améliorée et durant les quarante jours que nous avons fait des analyses comparatives entre l'eau à l'entrée et à la sortie du filtre, nous avons constaté que, grâce à la régularité du débit, la composition bactériologique de l'eau affluente était sensiblement identique.

Voici un tableau résumant quelques-unes des analyses faites après l'adoption définitive du mode de répartition de l'eau à la surface du sable. Les numérations ont eu lieu en boîtes de Pétri après quinze jours de culture (Tableau XI).

Nous ferons remarquer toutefois que, pendant la durée de nos expériences, le nombre des bactéries de l'eau filtrée a diminué d'une façon constante, les matériaux de drainage devenant de plus en plus stériles.

Il nous était indispensable pour nos recherches ultérieures de connaître exactement la vitesse de progression de l'eau au sein de la masse filtrante. Nous avons pour cela additionné l'eau affluente de fluorescéine dont nous avons surveillé l'apparition à la sortie du filtre. Ce n'est qu'au bout de 1 heure 42 minutes que nous en avons constaté la présence dans l'eau

TABLEAU XI
RÉSUMÉ DES ANALYSES FAITES AVANT ET APRÈS FILTRATION PAR LE SABLE NON SUBMERGÉ

DATES	NATURE DE DE L'EAU	NOMBRE TOTAL de Bact. par cc.	RÉPARTIES EN				Moissures
			Bact. chro- mogènes liquéf.	Bact. chromo- gènes non liquéfiants	Bact. non chro- mogènes liquéfiants	Bact. non chrom. non liquéfiants	
16 février 1910	Eau brute ⁽¹⁾ Eau filtrée	» 445	» 0	» 48	» 24	» 73	» 0
25 février 1910	Eau brute Eau filtrée	74 69	28 0	32 9	0 18	41 42	0 10
4 Mars 1910	Eau brute Eau filtrée	60 79	0 0	5 44	35 0	20 35	15 1
12 Mars 1910	Eau brute Eau filtrée	20 66	0 0	0 29	0 8	20 29	0 8
20 Mars 1910	Eau brute Eau filtrée	64 40	0 0	34 15	0 5	27 20	5 10
28 Mars 1910	Eau brute Eau filtrée	60 30	0 4	25 20	0 3	15 3	60 50
6 Mai 1910	Eau brute Eau filtrée	» 26	» 0	» 20	» 0	» 6	» 5
10 Mai 1910	Eau brute Eau filtrée	» 33	» 0	» 24	» 9	» 0	» 4

(1) L'eau brute est celle de l'alimentation de la ville de Lyon.

filtrée¹. La vitesse de filtration est donc de 0 m. 70 cm. par heure.

Cette addition de fluorescéïne nous a suggéré l'idée de rechercher le pouvoir infertilisant et antiseptique de ce corps. Son action n'a guère d'intérêt que dans la limite de sa solubilité dans l'eau qui est environ de 25 ‰.

Dans deux séries de trois tubes contenant chacun 20 cc. de bouillon, nous avons ajouté au premier 20 cc., au second 30 cc., au troisième 40 cc. de solution saturée de fluorescéïne. La proportion de fluorescéïne par rapport au volume total était donc respectivement de 1/80, 1/65 et 1/60. Nous avons laissé ce mélange en contact pendant 4 heures pour la première série, et pendant 24 heures pour la deuxième série. Après ce temps, nous avonsensemencé du B. Coli. Il était facile d'observer sous le microscope, grâce à la mobilité de ce bacille, l'action de la fluorescéïne sur celui-ci. Or l'examen, fait après avoir laissé les cultures 24 heures à l'étuve, nous a montré que ce corps n'était ni antiseptique, puisque les bacilles étaient encore vivants, ni infertilisant puisqu'ils avaient poussé en abondance. Il était donc inutile de poursuivre plus loin une recherche sans intérêt pratique.

Résultats Bactériologiques.

Nous avons alors commencé notre étude sur la stérilisation par le filtre à sable non submergé d'eau infectée artificiellement.

Nos recherches ont porté seulement sur les bacté-

1. Le débit était de 3 m³ par m² et par 24 heures.

ries aquatiques, les autres n'ayant qu'un intérêt bien secondaire dans la transmission des maladies d'origine hydrique.

Dans la première partie de nos essais, nous avons contaminé l'eau affluente avec des *microbes saprophytes*, dans la seconde avec des *microbes pathogènes*. Nous n'avons pas insisté sur le premier groupe, les bactéries banales n'ayant pas d'influence sur la qualité des eaux. Cependant nous avons choisi parmi celles-ci le genre coccus, les espèces pathogènes tels que le Coli, l'Eberth que nous nous proposons d'étudier étant du genre bacille.

Notre premier essai a porté sur le **micrococcus prodigiosus** qui est une espèce banale, facile à rechercher en raison de son pigment violet.

Nous avons dilué 10 tubes de culture en bouillon de micrococcus prodigiosus dans de l'eau distillée et stérilisée, et, au moyen d'une pomme d'arrosoir d'un débit correspondant à celui auquel fonctionnait notre filtre, nous avons arrosé la surface du sable toutes les 10 minutes pendant une heure avec cette eau contaminée. Connaissant la vitesse de filtration au sein de la masse filtrante, nous avons au bout de 1 heure 45 minutes commencé les prélèvements d'eau filtrée, et cela également toutes les 10 minutes pendant une heure.

Le micrococcus prodigiosus ne pouvait pas ainsi nous échapper. Les recherches ont été faites en boîtes de Pétri dans l'eau filtrée, sans dilution, et au bout de 15 jours nous n'avions constaté l'apparition d'aucune colonie de m. prodigiosus. Comme on pouvait nous

objecter que ce microbe, arrêté dans sa marche par les grains de sable, pouvait passer à une vitesse moindre que l'eau, et s'y rencontrer après un temps plus ou moins long, nous avons à différentes reprises analysé à nouveau l'eau effluente, et jamais la présence de ce microbe ne fut décelée.

Notre deuxième essai porta sur la **sarcine orangée** : c'est un microbe que l'on rencontre assez souvent dans les eaux et qui, de même que le précédent, se retrouve aisément par l'analyse.

Le mode de contamination employé fut le même que celui que nous venons de décrire : 10 tubes de culture en bouillon dilués dans de l'eau distillée et stérilisée ont été répandus à intervalles réguliers à la surface du sable. Les recherches faites dans l'eau filtrée dans les mêmes conditions que ci-dessus ne nous ont pas permis, au bout de quinze jours, de constater la présence de colonies de sarcine orangée.

Ces essais ayant été renouvelés plusieurs fois, nous sommes en droit de conclure que les microbes du genre coccus sont en totalité retenus au sein de la masse filtrante.

Mais il était beaucoup plus important de connaître l'action du filtre à sable non submergé sur les bactéries pathogènes. Le bacille Coli, le bacille d'Eberth et le Vibrion cholérique étant des microbes ciliés pouvaient, au cours de la filtration, se comporter d'une manière différente des précédents. Aussi avons-nous particulièrement insisté sur leur étude.

La première espèce sur laquelle aient porté nos recherches est celle que l'on rencontre le plus fré-

quement dans les eaux contaminées : le **Bacillus Coli**. Tout le monde sait combien on doit tenir pour suspecte une eau renfermant, même en petite quantité, cette bactérie qui est un hôte habituel de l'intestin de l'homme et des animaux, et dont la présence dénote une souillure par des matières fécales : nous n'insisterons pas sur ce point.

Nous décrivons seulement une de nos opérations, toutes ayant été faites suivant la même méthode.

Nous avonsensemencé du Coli dans une série de ballons renfermant chacun 10 cc. de bouillon et 100 cc. environ d'eau distillée et stérilisée. Au bout de 24 heures ces cultures qui avaient abondamment poussé, furent répandues à la surface du sable à intervalles de temps réguliers pendant deux heures, et l'eau filtrée fut recueillie comme précédemment. Cette contamination fut répétée plusieurs jours de suite pour bien saturer de Coli la masse filtrante ; et de nombreux prélèvements furent faits à n'importe quelle heure en dehors de ceux effectués régulièrement : de cette façon, le B. Coli, s'il passait dans l'eau filtrée, ne pouvait échapper à l'analyse.

Nous l'avons recherché simultanément en bouillon phéniqué et en neutralroth : en bouillon phéniqué sur 50 et 100 centimètres cubes ; en neutralroth dans 5 tubes contenant respectivement 20 cc., 15 cc., 10 cc., 5 cc., et 1 cc. d'eau suspecte. Ces deux méthodes très sensibles devaient nous permettre de déceler facilement la présence du Coli. Or ces milieux n'ont subi aucune modification caractéristique après 48 heures à l'étuve à 41°5. Cependant, il nous est arrivé plusieurs

fois au cours de nos recherches d'avoir des réactions douteuses : le bouillon phéniqué troublait légèrement, et le neutralroth virait un peu au jaune canari ou mieux devenait fluorescent. Mais, en même temps, nous obtenions sur celui-ci un beau voile de *Bacillus subtilis*. Pour identifier ces cultures douteuses, nous les avons ensemencées en lait et en bouillon tournesolé : ni coagulation, ni virage ne furent observés. Nous avions bien affaire à du subtilis, bacille en effet très résistant et poussant à 41°5.

Pendant toute la durée de nos expériences, le coli a été arrêté d'une façon constante par la filtration.

Le **bacille d'Eberth** devait tout naturellement arrêter notre attention, en raison du rôle prépondérant de l'eau dans la propagation de la fièvre typhoïde.

Par ses multiples analogies avec le colibacille, il semblait devoir se comporter de même que lui au cours de la filtration. Sa résistance étant moindre, la destruction en devait être encore plus facile. C'est en effet ce que l'expérience a prouvé. A la suite d'ensemencements de cultures pures d'Eberth, nous n'avons jamais observé la contamination de l'eau filtrée par celui-ci, soit en bouillon phéniqué, soit sur endo.

Nous devons, en dernier lieu, étudier l'action du filtre à sable non submergé sur le **vibrion cholérique**. C'est un microbe rare, que l'on ne rencontre que très exceptionnellement dans les eaux, mais dont l'action pathogène est si redoutable qu'il était de la plus grande importance de savoir comment il se comportait au cours de la filtration.

Dans notre premier essai, nous avons additionné

l'eau affluente de 60 centimètres cubes de cultures pures de *Vibrien cholérique*. Cette addition d'une trop grande quantité de bouillon a transformé notre filtre en un véritable milieu nutritif, et provoqué la contamination des régions basses de la masse filtrante et même des matériaux de drainage. Aussi avons-nous constaté la présence de quelques bacilles dans l'eau filtrée.

Cet accident a nécessité un lavage de dix jours pour débarrasser entièrement notre filtre du *vibrien cholérique*.

Au bout de ce laps de temps, nous avons repris nos recherches sur ce bacille, mais au lieu de nous servir de cultures en bouillon, nous avons émulsionné dans de l'eau distillée et stérilisée des cultures de *Choléra* sur agar. Le même inconvénient ne pouvait se reproduire ; et en effet, dans aucune de nos analyses ultérieures, nous n'avons décelé le passage dans l'eau filtrée du bacille virgule. Nous devions nous y attendre, en raison de la faible résistance de ce bacille, résistance beaucoup moindre que celle du *coli* et même de l'*Eberth*.

Nous avons été gênés dans la recherche du *V. cholérique* par un bacille poussant également en voile et liquéfiant la gélatine. Mais ce voile était beaucoup plus épais et d'aspect plus laiteux que celui du *choléra*, et à l'examen microscopique il était composé de gros éléments, trapus, associés en chaînettes et non incurvés. Enfin une culture âgée en bouillon de ce bacille ne donnait pas la réaction du *choléra-roth*, tandis que nous l'obtenions avec des cultures de bacille virgule de même âge etensemencé dans les mêmes conditions.

.

Ces résultats bactériologiques ont une importance capitale : il est du plus haut intérêt de savoir que l'on peut avoir pleine confiance en un système d'épuration, et que la stérilisation sera toujours complète, même au cours d'une épidémie, quel que soit le degré de contamination de l'eau.

Résultats chimiques.

A ces avantages bactériologiques s'en joignent d'autres d'ordre chimique.

La filtration par le sable non submergé fait subir de profondes modifications chimiques aux eaux contaminées. Nous avons jugé intéressant de faire quelques expériences avec de l'eau souillée au plus haut point : celle sortant de l'égout collecteur d'un des quartiers les plus peuplés de Lyon, au moment où elle se mêle à l'eau du Rhône.

Nous publions ci-dessous les résultats de quelques-unes des analyses de cette eau avant et après filtration.

1^{re} analyse

	EAU BRUTE	EAU FILTRÉE
Matière organique (évaluée en solution acide).....	6 mill. 4	0 mill. 43
OXYGÈNE DISSOUS { 1 ^o En poids.....	9 mill. 23	10 mill. 4
{ 2 ^o En volume.....	6 cc. 45	7 cc. 27
Degré hydrotimétrique total.....	13 ^o 5	14 ^o
— permanent.....	6 ^o	7 ^o
Chlorures (en NaCl).....	23 mill. 4	8 mill. 7
Nitrates.....	traces faibles	traces faibles
Nitrites.....	quant. notab.	néant
Ammoniaque.....	néant	néant
Nombre de bactéries au cent. cube.....	2,532.100	33

2^{me} analyse

	EAU BRUTE	EAU FILTRÉE
Matière organique (évaluée en solution acide).....	+ de 40 mill.	0 mill. 56
OXYGÈNE DISSOUS { 1° En poids.....	9 mill. 35	10 mill. 5
{ 2° En volume.....	6 cc. 535	7 cc. 33
Degré hydrotimétrique total.....	18°	18°
— permanent.....	7°	7° 2
Chlorures (en NaCl).....	93 mill. 5	22 mill.
Nitrates.....	néant	néant
Nitrites.....	néant	néant
Ammoniaque.....	0 mill. 75	néant
Nombre de bactéries au cent. cube.....	6.427.000	46

3^{me} analyse

	EAU BRUTE	EAU FILTRÉE
Matière organique (évaluée en solution acide).....	9 mill. 6	0 mill. 4
OXYGÈNE DISSOUS { 1° En poids.....	10 mill. 2	10 mill. 5
{ 2° En volume.....	7 cc. 13	7 cc. 34
Degré hydrotimétrique total.....	14° 5	14° 5
— permanent.....	6°	6° 5
Chlorures (en NaCl).....	30 mill. 7	13 mill. 1
Nitrates.....	néant	néant
Nitrites.....	néant	néant
Ammoniaque.....	traces faibles	néant
Nombre de bactéries au cent. cube.....	»	»

Nous ne reviendrons pas sur l'épuration bactériologique : le nombre des microbes par centimètre cube est tombé de plusieurs millions à quelques unités.

Au point de vue des caractères généraux, l'eau brute était trouble, de cette couleur noirâtre caractéristique des eaux d'égout, et avait une odeur fétide et nauséuse. L'eau filtrée était parfaitement limpide et inodore. Nous avons déjà fait cette constatation à propos de l'eau du Loir épurée par le filtre d'essais de Châteaudun.

Ce qui est plus intéressant encore, c'est que le chiffre de la matière organique était réduit de plusieurs milligrammes à quelques dixièmes de milli-

TABEAU XII

VILLE DE CHATEAUDUN (EURE-ET-LOIR)

Eau de la Fontaine Ronde avant et après Filtration

Prélèvements effectués le 21 Novembre 1905

ANALYSE CHIMIQUE <i>Tous les résultats sont exprimés en milligrammes et par litre d'eau</i>	AVANT	APRÈS
	FILTRATION	FILTRATION
Matière organique (évaluée en solution acide).....	0.500	0.500
OXYGÈNE DISSOUS { 1° En poids.....	10.250	10.500
{ 2° En volume.....	7cc.166	7cc.340
Degré hydrotimétrique total.....	25.0	25.0
— permanent.....	6.0	6.0
Recherches générales		
Azote ammoniacal.....	0	0
Azote albuminoïde.....	0	0
Nitrites.....	0	0
Nitrates, en AzO^3H	25.0	24.1
Acide phosphorique.....	0	0
Acide sulfurique, en SO^3	8.2	8.2
Chlorure de sodium, en NaCl	30.0	30.0
Chlore correspondant, en Cl	18.2	18.2
ANALYSE MINÉRALE		
Résidu à 110 degrés.....	338.8	338.0
Résidu après calcination.....	310.0	310.0
Perte au rouge.....	28.0	28.0
Silice, en SiO^2	22.0	22.0
Chaux, en CaO	128.8	128.8
Magnésie, en MgO	10.0	10.0
Acide sulfurique, en SO^3	8.2	8.2
Chlore, en Cl	18.2	18.2

grammes; l'oxygène dissous dans l'eau subissait une augmentation d'un demi-milligramme au minimum : les nitrites présents dans l'eau brute ainsi que l'am-

moniaque souvent en quantité notable, étaient absents dans l'eau filtrée ; enfin les chlorures diminuaient dans la proportion des trois quarts ; seule, dans quelques essais, la dureté totale se trouvait légèrement accrue — 0° 5.

Ce sont là des résultats surprenants et sur lesquels il serait inutile d'insister.

Les eaux de source ou de rivière subissent des modifications chimiques proportionnelles à leur contamination. En général les premières, faiblement minéralisées et pauvres en matières organiques, n'offrent après leur passage à travers des sables fins qu'une augmentation de l'oxygène dissous ; celles de rivière voient en outre diminuer dans une proportion appréciable la quantité de matière organique.

Nous reproduisons à cet appui une analyse complète de l'eau de la Fontaine-Ronde faite par M. Dimitri : comme il est facile de le voir, la teneur en oxygène a seule varié au cours de la filtration (voir tableau XII).

CHAPITRE VI

CONSIDÉRATIONS D'ENSEMBLE SUR L'ÉPURATION DES EAUX PAR LE FILTRE A SABLE NON SUBMERGÉ

Nous nous proposons, après ce long exposé des résultats pratiques de l'épuration des eaux par le sable noyé, d'en expliquer le mécanisme ; et, pour en rendre la démonstration plus évidente, il nous semble utile auparavant de rappeler brièvement la théorie de la filtration par le sable submergé.

On admet que l'épuration, dans les *filtres à sable submergé*, est due à la membrane biologique qui se forme à la surface du sable. Celle-ci est constituée en grande partie par des algues et par l'argile en suspension dans l'eau qui vient se déposer sur la masse filtrante. M. le Dr Miquel a en effet « fabriqué artificiellement cette membrane en délayant de l'argile dans de l'eau limpide, et a obtenu des épurations très notables accompagnées de la disparition des espèces suspectes¹ ». Ces épurations n'étaient pas dues à des végétations parasites, car M. Miquel avait eu soin de soustraire son filtre à l'action de la lumière du jour.

On peut se demander si la membrane biologique, telle qu'elle existe dans les filtres à sable non submergé, ne contribue pas, par les déchets provenant du renouvellement des cellules des algues qui la com-

1. Dr Miquel, Ext. des *Annales de Montsouris*, t. V, 1^{er} fasc., 1904.

posent, à augmenter la teneur en matières organiques des eaux filtrées.

De plus, cette couche est-elle endommagée ? — et l'exemple cité par Bitter (p. 19) nous montre combien elle est fragile — l'eau cesse d'être épurée au point de vue bactérien.

En dernier lieu cette membrane biologique ne se produit qu'au bout d'un certain laps de temps, et à ce moment devient vite imperméable.

« Avant que cette couche soit formée, le filtre n'existe pas ; quand la couche, devenue trop épaisse, a cessé d'être perméable, le filtre n'existe plus¹. »

Nous avons pu nous en rendre compte dans les filtres américains et les bassins filtrants à Hambourg.

Dans le système qui nous occupe, le rôle de la membrane biologique est supprimé, puisqu'elle n'existe pas. L'épuration semble tenir « à des actions mécaniques qui fixent fortement sur les grains de sable mouillés les particules de toute sorte que les eaux tiennent en suspension ; d'où une clarification et un appauvrissement considérable en germes des eaux circulant en quantité modérée dans les couches sableuses, d'où de même fixation d'une certaine quantité de matières colloïdales des eaux très impures qui se traduit par une diminution de la matière organique, d'où, enfin, augmentation de l'oxygène dissous par un contact prolongé de l'air entraîné dans la masse du sable² » avec l'eau qui tombe en chute libre et très divisée.

1. Marchadier, *Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontologie et d'Hydrologie*, t. XXII, année 1908, p. 37.

2. M. Miquel, Ext. des *Annales de Montsouris*, t. V, 1^{er} fasc., 1904.

Il se produit donc une oxygénation maxima à l'encontre de ce qui se passe dans les filtres à sable submergé, ainsi qu'en témoigne le tableau suivant :

TABLEAU XIII

SURVEILLANCE DES FILTRES

LABORATOIRE DE SAINT-MAUR (EAU DE MARNE FILTRÉE)

MOYENNES HEBDOMADAIRES DU PREMIER TRIMESTRE 1905

SEMAINES	QUANTITÉ D'OXYGÈNE DISSOUS	
	Dans l'eau brute	Dans l'eau filtrée
	mmgr.	mmgr.
15 janvier au 21 janvier.....	13.2	12.1
22 janvier au 28 janvier.....	13.2	12.3
29 janvier au 4 février.....	12.6	12.1
5 février au 11 février.....	12.5	11.5
12 février au 18 février.....	12.4	13.6
19 février au 25 février.....	12.6	12.1
26 février au 4 mars.....	12.5	12.5
5 mars au 11 mars.....	»	12.6
12 mars au 18 mars.....	11.1	10.8
18 mars au 25 mars.....	10.7	9.4
26 mars au 1 ^{er} avril.....	12.2	9.0

Ces chiffres sont suffisamment éloquents par eux-mêmes sans qu'il nous soit besoin de les commenter.

L'absence de pression est, en outre, un facteur des plus importants pour la bonne épuration de l'eau dans ce système de filtration.

Quand bien même le débit serait poussé à son maximum — c'est-à-dire tant que le sable ne sera pas noyé — l'eau cheminera naturellement à travers la masse filtrante sous la simple action de la pesanteur, et à aucun moment il n'y aura de filtration forcée.

C'est une objection que nous avons adressée aux bassins filtrants de Hambourg en particulier, où le débit varie sans cesse avec la masse d'eau que supporte le sable.

En dernier lieu, et c'est peut-être le plus grand argument en faveur du système que nous avons étudié, il n'est pas une goutte d'eau qui échappe à la filtration.

Nous avons vu, dans les appareils à sable noyé, le rôle néfaste que joue la paroi : c'est à celle-ci qu'il faut attribuer principalement le passage des bactéries de l'eau brute dans l'eau filtrée. S'il se produit ici une sorte d'aspiration de l'eau entre la masse filtrante et la paroi, par suite de la diminution de la résistance d'une part, et de l'attraction moléculaire des liquides avec les solides d'autre part, c'est le phénomène inverse qui se passe dans le filtre à sable non submergé : l'eau cheminant à travers les canaux minuscules qui existent entre les grains de sable provoque une sorte de siphonnement de l'extérieur vers le centre ; et il ne s'écoule pas une seule goutte d'eau par les ouvertures pratiquées dans les parois d'un filtre en fonctionnement.

*
* *

Ce parallèle entre le filtre à sable submergé et le filtre à sable non submergé est tout à l'avantage de ce

dernier, et l'on n'est pas étonné de voir la pratique s'accorder avec la théorie, ainsi qu'en témoignent les résultats publiés ci-dessus.

Mais l'objection que l'on ne manquera pas de nous adresser est celle-ci : « Pourquoi rencontre-t-on dans l'eau filtrée un nombre souvent considérable de bactéries ? »

Nous avons déjà dit en passant, et nous insistons sur ce point, *qu'il n'existe aucune relation entre le nombre de bactéries à l'entrée et à la sortie du filtre*. Il ne s'agit pas, en effet, pendant l'épuration, d'une simple réduction microbienne plus ou moins parfaite au sein de la masse filtrante, mais d'un arrêt total des bactéries contenues dans l'eau brute, puisque celles rencontrées dans l'eau affluente sont d'une autre nature.

Ces bactéries, que M. le Dr Miquel appelle *épiphémonéales*, naissent et se multiplient dans les cryptes du drainage : elles ne peuvent donc présenter aucun inconvénient, ces drains étant à l'abri de toute contamination par les espèces pathogènes.

Les preuves sont multiples qui confirment cette assertion. D'abord la composition bactériologique de l'eau filtrée ne change pas quand bien même on arrose la surface du sable avec une eau infectée renfermant plusieurs millions de bactéries par centimètre cube. En second lieu, augmente-t-on le débit du filtre ? la teneur microbienne de l'eau filtrée diminue : favorise-t-on au contraire la stagnation ? c'est le phénomène inverse qui se produit. Il est facile enfin d'obtenir des recrudescences bactériennes dans l'eau filtrée ; il suffit

pour cela d'additionner l'eau affluente d'une petite proportion de matières nutritives, telles que peptone ou bouillon de viande. Les expériences de M. le Dr Miquel à ce sujet sont remarquablement intéressantes. Il a démontré d'une façon irrécusable dans de nombreux essais, que la teneur des eaux filtrées est sous la dépendance étroite des produits nutritifs solubles dans l'eau à épurer. Ces essais différant uniquement par le détail, nous n'en reproduirons qu'un seul à cet appui. « En ajoutant 10 grammes de peptone à l'eau brute, le maximum de bactéries observé dans l'eau filtrée excédait à peine 4.000 par centimètre cube (4.070 exactement) ; avec 20 grammes de peptone, la recrudescence de l'eau observée était de 23.250 bactéries par centimètre cube ; enfin avec 40 grammes de peptone le chiffre des bactéries de l'eau filtrée se montrait égal à 86.790 par centimètre cube, 12 heures après le jet de la substance nutritive. Puis le nombre diminuait rapidement, et le filtre redevenait à l'état normal au bout de quelques jours ¹. »

Ce qui prouve bien que les bactéries développées dans les couches superficielles du sable ne peuvent parvenir dans l'eau filtrée, c'est que celle-ci, « dans de multiples recherches faites après addition de peptone sur la présence du coli bacille, ne permit jamais d'y déceler cette espèce, bien qu'elle contînt de 70.000 à 80.000 bactéries vulgaires par centimètre cube ². »

Nous avons nous-même renouvelé indirectement

1. Ext. des *Annales de Montsouris*, Miquel et Mouchet.

2. *Ibid.*

cette expérience lors de la contamination artificielle de notre filtre avec de la sarcine orangée ou du micrococcus prodigiosus en culture dans du bouillon. L'addition de ce bouillon a provoqué immédiatement une formidable augmentation de bactéries que nous avons constatée dans nos boîtes de Pétri.

Ces recrudescences bactériennes sont d'autant plus sensibles que l'eau est plus stérile. Une eau de rivière subit une *auto-infection* beaucoup moins considérable qu'une eau de source, et celle-ci peut contenir après filtration un plus grand nombre de micro-organismes que la première, de même qu'une eau stérilisée soit à froid, soit par la chaleur, s'infecte plus facilement qu'une eau naturelle.

Les chiffres du tableau suivant, publié par le Dr Miquel, montrent dans la première colonne, les recrudescences de l'eau de l'Oureq naturelle, dans la deuxième les recrudescences de l'eau de l'Oureq stérilisée à froid, dans la troisième les recrudescences de la même eau stérilisée à 110°.

Bactéries par centimètre cube	Naturelle	Eau d'Oureq	
		Stérilisée à froid	Stérilisée à 110°
Au départ	5.500	65	59
Après 1 jour.....	49.500	1.169.640	75.500
Après 3 jours.....	71.500	1.525.000	415.500
Après 6 jours.....	12.000	25.000	110.000
Après 9 jours.....	45.000	70.000	35.000
Après 13 jours.....	2.750	50.220	36.000
Après 17 jours.....	13.200	68.750	72.750
Après 22 jours.....	4.800	40.500	48.500
Après 30 jours.....	13.500	76.250	17.500
Après 38 jours.....	11.450	64.750	24.300
Après 52 jours.....	7.400	30.200	8.700

Les deux échantillons d'eau d'Ourcq stérilisée à froid et par la chaleur ont reçu au début de l'expérience une quantité d'eau d'Ourcq naturelle déterminant dans le volume total de l'eau soumise à la stagnation une teneur microbienne respective de 65 et 59 bactéries par centimètre cube ¹.

On voit par là qu'il est impossible d'établir un rapport entre le chiffre des bactéries de l'eau filtrée et de l'eau brute. Cela est si vrai que dans nos expériences nous avons souvent trouvé un nombre de microorganismes plus considérable dans l'eau filtrée que dans l'eau affluente qui était celle de la ville de Lyon.

Il faudrait pour réduire à 0 le nombre des bactéries à la sortie avoir des drainages stériles et non infectables par les bactéries communes.

D'ailleurs, dans tous les filtres non noyés fonctionnant actuellement où l'on a soin de réduire au minimum le vide inférieur du drainage, le nombre des bactéries affluentes par centimètre cube est toujours insignifiant — parfois même celles-ci disparaissent-elles complètement. (Voir *Analyses*, p. 68.)

Que deviennent alors les bactéries sans cesse apportées par l'eau brute? MM. Miquel et Mouchet, qui ont fait à ce sujet des recherches très intéressantes ont constaté que « le nombre des bactéries par centimètre cube de sable augmentait rapidement jusqu'à 0 m. 30 de profondeur, puis qu'il décroissait assez régulièrement jusqu'à la base du filtre ² ». Ces microbes, dans la première partie de la masse filtrante, semblent pour

1. Ext. des *Annales de Montsouris*, t. V, 1^{er} février 1904.

2. *Revue scientifique*, 19 janvier 1907. Miquel et Mouchet, *Sur les filtres à sable non submergé*.

se nourrir s'emparer de tous les éléments nutritifs que l'eau contient et provoquer ainsi la diminution de matière organique constatée, puis « après avoir séjourné plus ou moins longtemps dans les couches supérieures du sable, meurent de vieillesse avant de pouvoir parvenir jusqu'aux drainages ¹ ». Les plus résistants vivent le plus longtemps et parmi ceux-ci le bacille du colon que l'on retrouve encore en faible proportion jusqu'à une profondeur de 0 m. 80. Il se produit ainsi une compensation entre le nombre des bactéries affluentes et de celles qui disparaissent : c'est pourquoi la saturation bactérienne du filtre tend rapidement vers une limite qu'elle ne peut dépasser faute de nourriture.

Dans le filtre à sable non submergé, l'eau sera donc de moins en moins riche en bactéries à mesure qu'elle chemine à travers la masse filtrante pour arriver à une pureté parfaite à sa sortie, et devenir stérile au point de vue bactériologique.

Si l'on ajoute, ainsi que nous l'avons vu plus haut, que l'eau ainsi traitée est désodorisée, en même temps qu'elle subit une augmentation d'oxygène et partant une diminution de la matière organique, on arrive à cette conclusion que le filtre à sable non submergé constitue, de par ses avantages bactériologiques et chimiques réunis, un mode parfait d'épuration des eaux.

1. *Revue scientifique*, 19 janvier 1907. Miquel et Mouchet, *Sur les filtres à sable non submergé*.

*
* *

Avant de terminer notre étude sur le filtre à sable non submergé, nous signalerons quelques conditions favorisant le bon fonctionnement de cet appareil.

Dans les descriptions que nous en avons données, nous ne nous sommes jamais inquiété de la consommation journalière de l'eau. Or, si pour un laboratoire c'est une dépense qui n'entre guère en ligne de compte, il n'en est pas ainsi pour une ville ou pour un particulier. Dans les installations publiques ou privées, il va sans dire qu'il faut pourvoir ce filtre d'un appareil permettant d'arrêter le débit lorsque le réservoir d'eau filtrée est rempli, et d'en rétablir le fonctionnement normal dès que celui-ci commence à se vider. L'emploi en est rendu d'autant plus facile que le filtre Miquel, étant doué d'une élasticité remarquable, peut subir des arrêts et remises en marche fréquents sans que l'épuration ait à en souffrir.

Les constructeurs qui ont étudié cette question — et en particulier M. Gaultier, ingénieur sanitaire — ont muni ce filtre d'un dispositif très simple et d'une régularité parfaite qui permet l'alimentation *automatique* du sable par le débit même de l'eau filtrée, — dispositif qui s'applique aussi bien à l'alimentation en eau des agglomérations importantes que de l'habitation privée ¹.

C'est un détail technique qui n'est pas de notre compétence et nous renvoyons aux constructeurs qui l'ont résolue ceux qu'intéresserait cette question.

1. *Épuration des eaux d'alimentation par les filtres à sable non submergé*. L. Gaultier, 77, boulevard Haussmann, Paris.

Il en est une autre, d'ordre tout différent, dont nous dirons quelques mots : c'est l'origine des eaux servant à l'alimentation du filtre à sable non submergé.

Nous avons vu que l'eau devait arriver limpide à la surface du sable pour en éviter le colmatage trop rapide et pour empêcher l'obstruction des orifices de distribution.

Pour réaliser ce but, l'emploi d'un dégrossisseur s'impose. Cependant, à Châteaudun par exemple, celui-ci a pu être supprimé, parce que l'eau servant à l'alimentation est une eau de source toujours claire : il y a là assurément une économie, et nous croyons bon, pour cette raison, de recommander l'emploi des eaux de source, dans la mesure du possible.

Celles-ci ont, en plus de leur limpidité, le gros avantage d'avoir une température à peu près constante. Nous publions à titre documentaire quelques analyses qui nous ont été fournies par la ville de Nantes.

INSTITUT PASTEUR DE LA LOIRE-INFÉRIEURE

LABORATOIRE DE BACTÉRIOLOGIE

ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES DES EAUX DE NANTES

Bulletin N° 353

PROVENANCE DES EAUX	DATE de l'ana- lyse	TEMPÉRATURE extérieure	TEMPÉRATURE de l'eau	DATE de la numération	TENEUR EN bactéries par cc.	TENEUR EN MOL- SISURES par cc.	Bactérium Coli
Loire.....	8 mars	11°	2°5	16 mars 8 ^e jour	4. 900	0	+
Dégrossisseurs....	—	11°	2°5	—	3. 400	0	++
Bassin n° 4.....	—	8°	2°5	—	216	0	++
Bassin n° 5.....	—	8°	2°5	—	38	0	++
Collecteur général.	—	9°5	2°	—	28	0	++
Borne-fontaine....	—	11°	3°	—	228	0	++

Bulletin N° 363

Loire.....	4 mai	17°	13°	12 mai 8° jour	4. 500	0	+
Dégrossisseurs....	—	17°	13°	—	1. 100	0	+
Bassin n° 9.....	—	15°	13°	—	45	0	+
Bassin n° 12.....	—	15°	13°	—	88	0	+
Collecteur général.	—	14°	13°	—	48	0	+
Borne-fontaine (rue Bon - Se- cours).....	—	17°5	14°	—	67	0	+

Bulletin N° 372

Loire.....	24 juin	19°5	17°5	2 juil. 8° jour	7. 600	0	+
Dégrossisseurs....	—	19°	17°	—	1. 200	0	+
Bassin n° 14.....	—	18°	17°5	—	131	0	+
Bassin n° 15.....	—	18°	17°	—	190	0	+
Collecteur général.	—	18°	17°5	—	230	0	+
Borne-fontaine (place de la Ré- publique).....	—	20°	18°	—	252	0	+

Bulletin N° 376

PROVENANCE DES EAUX	DATE de l'ana- lyse	TEMPÉRATURE extérieure	TEMPÉRATURE de l'eau	DATE de la numération	TENEUR DE bactéries par cc.	TENEUR EN MOI- SISURES par cc.	Bactérium Coli
Loire.....	15 juil.	18°	19°5	17 juil. 2° jour	2. 700	0	+
Dégrossisseurs....	—	17°5	19°5	—	500	0	+
Bassin n° 15.....	—	18°	19°5	—	51	1	+
Bassin n° 16.....	—	18°	19°	—	190	0	+
Collecteur général.	—	18°	19°	—	26	0	+
Service d'eau du Laboratoire	—	19°	19°7	—	57	0	+

Bulletin N° 382

Loire.....	16 août	25°	22°8	21 août 8° jour	2. 500	0	+
Dégrossisseurs....	—	21°2	25°	—	500	200	+
Bassin n° 13.....	—	22°	25°	—	72	0	+
Bassin n° 16.....	—	22°	25°	—	77	0	+
Collecteur général.	—	22°	25°	—	38	0	+
Borne-fontaine (place de la Bourse).....	—	22°	25°	—	80	0	+

L'eau d'alimentation est celle de la Loire, et l'on peut constater les écarts formidables de température entre le mois de mars et d'août par exemple. Il est certain qu'une ville n'a guère d'intérêt à fournir à ses habitants une eau dont la température atteint 25° ! Ceux-ci, dans l'espoir d'obtenir une eau plus fraîche, laissent en vain couler les robinets à plein jet ; il y a là une dépense considérable pour la ville, et un mécontentement général pour les particuliers.

Pour ces deux motifs que nous venons d'exposer, nous ne saurions trop recommander, dans les régions où l'on a le choix, d'épurer les eaux de source de préférence aux eaux de rivière.

Avantages économiques du filtre à sable non submergé.

Nous sommes naturellement amenés, puisque nous avons parlé économie, à discuter les prix de revient et d'exploitation du filtre à sable non submergé.

La question économique doit, en effet, entrer en ligne de compte en faveur d'un système d'épuration quel qu'il soit.

C'est là l'objet de fréquentes controverses entre les partisans des divers modes de stérilisation des eaux.

Nous donnons, sans parti-pris, les chiffres qui nous ont été communiqués touchant le filtre à sable non submergé.

L'installation de Châteaudun ne peut servir de base que très approximativement pour diverses raisons. D'abord ce fut la première installation de ce genre qui fut faite en grand, et à ce moment la question n'était pas absolument au point : il fallait s'attendre à

des frais imprévus. En second lieu, M. Baudet a fait construire le réservoir d'eau brute au-dessus des cuves à sable — nous en avons dit plus haut les raisons ¹ — et ce fut à son avis une dépense inutile. Enfin il n'existe pas de dégrossisseur.

Néanmoins, d'après les renseignements fournis par M. Baudet, le prix d'une installation de 250 mètres carrés avec un débit de 4 mètres cubes, c'est-à-dire fournissant 1.000 mètres cubes d'eau par 24 heures, est au maximum de 25.000 francs, soit 25 francs du mètre cube par jour.

Or il résulte de discussions à la Société des Ingénieurs civils de France, en date des 23 avril et 7 mai 1909, que ce prix est presque la moitié du prix de revient des filtres ordinaires. Pour le bassin d'Ivry, en effet, le prix d'installation fut de 45 fr. 76 par 24 heures. La stérilisation par l'ozone, d'après un rapport de M. Borne, a coûté à la ville de Chartres 30 francs par mètre cube.

L'installation même du filtre à sable non submergé est donc moins coûteuse que celle de n'importe quel système d'épuration.

Mais le prix de l'installation première n'intervient pas seul dans les dépenses faites par une ville pour l'alimentation publique, il faut y ajouter surtout celui de l'exploitation.

M. Baudet n'a pu nous en donner exactement le chiffre, l'expérience étant trop récente pour se prononcer. Cependant le filtre à sable non submergé doit

1. Voir page 69.

représenter le minimum de prix d'exploitation, puisque, fonctionnant automatiquement, il ne demande presque aucune surveillance ni aucun entretien. Il y a là un avantage capital, à l'encontre de ce qui se passe dans la plupart des systèmes d'épuration : pas de machine, pas de main-d'œuvre. C'est la *stérilisation à bon marché*.

Nous terminerons donc en espérant avec M. le Dr Miquel que « les avantages de l'épuration des eaux par les sables non submergés seront de plus en plus appréciés par les villes et les petites localités déshéritées au point de vue des eaux salubres, qui n'ont souvent à leur disposition que des ruisseaux ou des sources contaminées, et qu'un appareil épurateur de la nature de celui que nous avons étudié pourra, dans bien des cas, sauvegarder la santé publique et constituer un puissant moyen de prophylaxie contre les maladies transmissibles par voie hydrique ¹. »

1. Dr Miquel, *Annales de Montsouris*, t. V, 1^{er} fasc., 1904.

CONCLUSIONS

I. De tous les systèmes d'épuration des eaux par le **sable submergé**, les plus communément employés : galeries filtrantes, puits Lefort, filtres de Hambourg, filtres américains à coagulants, aucun ne donne une absolue sécurité au point de vue bactériologique, à moins d'une surveillance de tous les instants.

II. Le filtre à sable **non submergé**, c'est-à-dire dans lequel l'eau ne recouvre jamais la masse filtrante, mais tombe en pluie à sa surface, est un appareil simple, de construction facile et dont la surveillance et l'entretien sont réduits au minimum.

III. Dans les multiples recherches du laboratoire poursuivies par MM. Miquel et Mouchet depuis plus de cinq années, l'épuration a toujours été parfaite, quel que soit le degré de contamination des eaux et malgré l'imperfection des appareils qu'ils ont employés.

IV. Les applications industrielles faites récemment à Châteaudun et à Rouen, avec toutes les données que l'on possédait sur cette question, ont donné des résultats encore supérieurs à ceux du laboratoire, et l'on a pu avec cet appareil obtenir des eaux bactériologiquement stériles.

V. Dans le filtre que nous avons construit nous-

même et modifié quant au mode de distribution de l'eau à la surface du sable, qui laissait beaucoup à désirer jusqu'alors, nous avons complété les expériences faites antérieurement, et constaté qu'aucun microbe soit saprophyte, soit pathogène — *Bacillus Coli*, *B. d'Eberth*, *Vibrien cholérique* — susceptible de se rencontrer dans les eaux ne résistait à la filtration. Au point de vue chimique, nous avons noté d'une façon constante l'augmentation de l'oxygène dissous, et en outre, dans les eaux très contaminées, la diminution dans une proportion considérable de la matière organique et des chlorures, et la disparition des nitrites et de l'ammoniaque.

VI. L'épuration dans le système qui nous occupe est supérieure à celle des filtres noyés, grâce à la suppression du rôle néfaste de la paroi, à l'absence de pression à la surface du sable, et en dernier lieu à l'oxygénation intense due à l'air renouvelé et entraîné sans cesse par l'eau au sein de la masse filtrante.

VII. Au point de vue économique, les frais de construction, d'entretien et de fonctionnement, sont inférieurs à ceux de tous les systèmes d'épuration employés jusqu'ici.

Vu :

LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,
J. COURMONT

Vu :

LE DOYEN,
L. HUGOUNENQ

Vu et permis d'imprimer :

Lyon, le 14 mai 1910.

LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
P. JOUBIN

BIBLIOGRAPHIE

Annales de Montsouris, t. V, 1^{er} fasc., 1904. D^r MIQUEL et H. MOUCHET. Épuration des eaux de source et de rivière par les sables non submergés.

Annales de Montsouris, t. VII, 1^{er} trimestre 1905. D^r MIQUEL et H. MOUCHET. Nouvelles recherches sur l'épuration des eaux de source et de rivière par les filtres à sable non submergé.

Annales de Montsouris, t. VII, 1^{er} trimestre 1906. D^r MIQUEL et H. MOUCHET. Nouvelles remarques sur les filtres à sable non submergé.

Revue pratique d'hygiène municipale, mai et juin 1908. D^r J. COURMONT et D^r LACOMME. Principaux procédés de filtration des eaux destinées à l'alimentation publique. Le filtre à sable non submergé.

Filtres à sable non submergé. L. BAUDET.

Filtration des eaux d'alimentation. Documents divers relatifs à un filtre d'expérience établi à Châteaudun; juin 1906. L. BAUDET et DIMITRI.

Sonder-Abdruck aus « Wasser und Abwasser », Band., I, 1909. L. BAUDET. « Épuration des eaux alimentaires. Nouveaux procédés de filtration par le sable non submergé. »

Revue scientifique, 19 janvier 1907. D^r MIQUEL et H. MOUCHET. Sur les filtres à sable non submergé.

Filtration des eaux potables par les procédés américains. D^r NOMBLOT.

Des eaux filtrées dans l'alimentation des grandes villes. D^r DUPONT.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
AVANT-PROPOS.....	5
INTRODUCTION.....	7

CHAPITRE PREMIER

LES FILTRES A SABLE NON SUBMERGÉ, CRITIQUE

Galeries filtrantes.....	9
Puits Lefort	10
Filtres de Hambourg.....	11
Filtres américains à coagulants.....	16

CHAPITRE II

LE FILTRE A SABLE NON SUBMERGÉ

Historique.....	21
Description.....	23
Fonctionnement et entretien.....	30

CHAPITRE III

ÉTUDE DU FILTRE A SABLE NON SUBMERGÉ AU LABORATOIRE. .	39
--	----

CHAPITRE IV

APPLICATION DU FILTRE A SABLE NON SUBMERGÉ A L'ALIMENTATION PUBLIQUE

Installation de Châteaudun.....	59
Installation de Rouen.....	75

CHAPITRE V

RECHERCHES PERSONNELLES SUR LE FILTRE A SABLE NON SUBMERGÉ

Description de l'appareil modifié.....	81
Résultats bactériologiques.....	89
Résultats chimiques.....	95

-L. COMBAUD.

CHAPITRE VI

CONSIDÉRATIONS D'ENSEMBLE SUR L'ÉPURATION DES EAUX PAR LE FILTRE NON SUBMERGÉ

Mécanisme de l'épuration.....	99
Avantages économiques du filtre à sable non submergé.	
CONCLUSIONS	115
BIBLIOGRAPHIE	117

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS
